



Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner - Del 1: Konstruktioner/systemer

Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet

Tommerup, Henrik M.; Rose, Jørgen

Publication date:
2002

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M., & Rose, J. (2002). *Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner - Del 1: Konstruktioner/systemer: Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet*. Byg Rapport No. R-040 <http://www.byg.dtu.dk/publications/rapporter/r-040.pdf>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Tommerup
Jørgen Rose

Forsøgshus med nye typer
klimaskærmskonstruktioner
Del 1: Konstruktioner/systemer

Byggesystem: Lette ydervægselementer i
stålskelet

**DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET**



Rapport
BYG•DTU R-040
2002
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-099-8

Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner Del 1: Konstruktioner/Systemer

Byggesystem: Lette ydervægs-
elementer i stålskelet

Henrik Tommerup
Jørgen Rose



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2002

FORORD

Denne rapport beskriver konstruktioner og systemer samt varmetabsberegninger og simuleringer af energiforbrug for et højisoleret enfamilieshus med lette ydervægselementer. Huset har et forventet energiforbrug til rumopvarmning på 33 % af den nugældende energiramme ($280 \text{ MJ/m}^2/\text{år}$), jf. Bygningsreglement for Småhuse [1].

Rapporten er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ”Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner” (j. nr. 1213/00-0011), der hører under Energistyrelsens Energiforskningsprogram 2000 (EFP 2000). Projektet er udført i samarbejde mellem BYG•DTU og By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut).

Huset beskrevet i rapporten, er et blandt flere huse, der indgår i projektet. De andre huse beskrives i separate rapporter. For alle huse gælder at der bliver udført detaljerede målinger af energiforbrug mm., og disse redegøres der for i særskilte rapporter.

Huset er opført af arkitekt Svend Aage Jensen fra Lemvig i samarbejde med byggefirmaet SHS BYG, Lemvig, og er opbygget af komponenter fra følgende firmaer:

Danogips A/S (ydervægselementer og indervægge)
Sundolitt A/S (fundamenter og terrændæk)
Rationel Vinduer A/S (vinduer og døre)
Technor APS (ventilationsanlæg, varmeveksler er fra Air-Wex)
Nørre Nisum Maskinværksted (varmeanlæg)

Rapportens forfattere er:
Henrik Tommerup, forskningsadjunkt, BYG•DTU.
Jørgen Rose, forskningsadjunkt, BYG•DTU.

Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, oktober 2002.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
RESUMÉ	3
SUMMARY	5
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	7
1.1 Baggrund	7
1.2 Formål.....	7
2 BEREGNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER MM.	8
2.1 Beskrivelse af konstruktioner og systemer.....	8
2.2 Beskrivelse af samlingsdetaljer	13
2.3 Beregning af konstruktioner, U-værdier.....	13
2.4 Beregning af samlingsdetaljer, Ψ -værdier.....	16
2.5 Sammenfatning af resultater	19
3 BEREGNING AF ENERGIFORBRUG OG INDEKLIMA	22
3.1 Beskrivelse af bygningsmodel.....	22
3.2 Simulering	23
3.3 Resultater	25
4 ØKONOMISK VURDERING AF ENERGIBESPARENDE TILTAG	31
4.1 Pris- og energimæssig sammenligning.....	31
4.2 Vurderingsmetode	33
4.3 Beregningsforudsætninger.....	33
4.4 Resultater	35
4.5 Sammenfatning og diskussion af resultater	36
5 KONKLUSION	37
5.1 Varmetab og kuldebroer	37
5.2 Opvarmningsbehov og indeklima.....	37
5.3 Økonomi	38
6 REFERENCER	39
BILAG: FACADER, SITUATIONSPLAN, GRUNDPLAN, TVÆRSNIT MV.	40

RESUMÉ

Huset beskrevet i denne rapport er et blandt flere huse der indgår som forsøgshus i projektet ”Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner”; et projekt under energiforskningsprogram 2000 (EFP2000). Huset er beliggende i Lemvig, og er opført af Danogips A/S, SHS BYG A/S og arkitekt Sv. Aa. Jensen, Lemvig, der er selvstændige firmaer, som i samarbejde har udviklet et lavenergi-koncept for bl.a. opførelse af enfamiliehuse.

Projektets ene formål er at demonstrere, at det er muligt at bygge typiske enfamiliehuse med et energiforbrug der opfylder forventede skærpede krav i bygningsreglementet, og at det kan ske byggeteknisk forsvarligt og indenfor fornuftige økonomiske rammer. Det er således også formålet at medvirke til at styrke udviklingen af bedre klimaskærmskonstruktioner ved blandt andet at vise gode eksempler på integration af vinduer og installationer. Projektets andet formål er at foretage detaljerede målinger af energiforbrug mm., således at den varmetekniske ydeevne for fremtidens klimaskærmskonstruktioner underbygges.

Rapporten omhandler husets konstruktive udformning og energisystemer samt varmetabsberegninger og forventede energiforbrug.

Rapporten indledes med en kortfattet gennemgang af projektets baggrund og formål.

Derefter beskrives konstruktioner og samlingsdetaljer samt varme- og ventilationsanlæg, der sammen med det detaljerede tegningsmateriale vedlagt bagerst i rapporten, giver et overblik over husets konstruktive opbygning.

I rapportens kapitel 2 gennemgås varmetabsberegningerne. Disse er foretaget dels vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 [2], HEAT3 [3] og THERM [4] til beregning af kuldebroeffekter, dvs. linie- og punkttabskoefficienter, mens U-værdier for konstruktioner med homogene lag er beregnet ud fra reglerne angivet i DS418 [5]. Derefter sammenfattes resultaterne af beregningerne og der opstilles en beregning af husets forventede dimensionerende varmetab samt den samlede kuldebroandel.

Der foretages ligeledes simuleringer af husets opvarmningsbehov og indeklima ved brug af simuleringsprogrammet BSIM2000 [6]. Resultaterne der præsenteres er husets energibalance og den forventede operative temperatur i udvalgte rum.

Der gennemføres også en række parameteranalyser. I den forbindelse undersøges betydningen af et mindre internt varmetilskud, en mindre effektiv varmegenvinding, en mindre infiltration (mere lufttæt klimaskærm) og gulvvarmeslangernes temperatur.

By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut) har ultimo 2001 udsendt et oplæg til nye energibestemmelser i det forventede Bygningreglement år 2005 [7]. Heri er lagt op til at bygninger skal opfylde krav til det samlede energiforbrug (energibehovet til opvarmning, ventilation og køling i form af både varme og el), og altså ikke som nu kun varmekonsumet til opvarmning og ventilation. Derfor har det været relevant at undersøge om huset opfylder de kommende krav. Beregningen er mere en illustration af metoden (hvordan det samlede energiforbrug beregnes) end en konkret eftervisning af at bruttoenergieffektiviteten er overholdt, da der er tale om et første udkast til nye bestemmelser.

Der foretages desuden en økonomiske vurdering af de energibesparende tiltag, som er anvendt i huset. Referencen er et tilsvarende fuldmuret hus med et isoleringsniveau svarende til krav i det nuværende bygningsreglement.

Slutteligt redegøres for de konklusioner der kan drages af de beregninger og simuleringer der er beskrevet i rapporten.

SUMMARY

*Report R-040: Experimental building with new types of building envelope structures.
Part 1: Structures / Systems.*

Building system: Prefabricated lightweight external wall components incorporating a load-bearing steel frame.

The house described in this report is one of several experimental houses forming part of the project "Experimental buildings with new types of building envelope structures" (Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner), which is a project under the Energy Research Programme 2000 (EFP2000). The house is standing in Lemvig, and is built by Danogips A/S, SHS BYG A/S and the architect Sv. Aa. Jensen, Lemvig, which are independent firms that, among other things, have collaborated in developing a low-energy draft for the building of single-family houses.

One purpose of the project is to demonstrate that it is possible to build typical single-family houses with an energy consumption that meets anticipated intensified requirements of the building regulations, and that it can be made securely from the point of view of construction technology and within reasonable financial limits. Thus, the purpose is also to contribute to strengthen the development of better building envelope structures, for example by showing good examples of integration of windows and installations. The other purpose of the project is to carry out detailed measurements of energy consumption etc. to validate the thermal performance of future building envelope structures.

The report deals with the constructive design and energy systems of the house plus heat loss calculations and expected energy consumption.

The report begins with a brief summary of the background and object of the project.

Then construction and assembling details and heating system and ventilation system are described, which, together with the detailed plan material enclosed at the back of the report, give a survey of the construction of the house.

In chapter 2 of the report, heat loss calculations are gone through. These have been made partly by means of the detailed calculation programs HEAT2 [2], HEAT3 [3] and THERM [4] for calculation of thermal bridge effects, i.e. line and point heat loss coefficients, whereas U-values for constructions with homogeneous layers have been calculated from the rules stated in DS418 [5]. Then the results of the calculations are summarized and a calculation is made of the expected dimensioned heat loss of the house plus the total thermal bridge part.

Equally, simulations are made of the heating demand and indoor climate of the house by means of the simulation program BSIM2000 [6]. The results are the energy balance of the house and the expected operative temperature in selected rooms.

A number of parameter analyses are also carried out. In that connection the influence of a smaller internal heat supplement, a less efficient heat recovery unit, a smaller infiltration (more airtight building envelope) and the temperature of the floor heating pipes are investigated.

At the end of 2001 By og Byg (the Danish Building Research Institute) published a proposal for new energy regulations in the prospective Building Regulations in 2005 [7]. This sets the scene for buildings to meet the requirements for the total energy consumption (the energy requirement for heating, ventilation and cooling in the form of both heating and electricity), i.e. not as now just the heat consumption for heating and ventilation. It has therefore been relevant to investigate whether the house meets the future requirements. The calculations are an illustration of the method (how the total energy consumption is calculated) rather than a concrete demonstration of the fact that the gross energy limits has been observed, as it is the first draft of new regulations.

Furthermore, an economical estimation is made of the energy-saving measures that are used in the house. The reference is a similar house with a cavity wall and with an insulation level conforming to requirements in the present building regulations.

Finally, an account is given of the conclusions that can be drawn from the calculations and simulations that are described in the report.

1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL

1.1 Baggrund

I Energi 2000 (handlingsplan for en bæredygtig udvikling fra 1990) [8] forpligtede regeringen sig til at arbejde for, at nybyggeriets varmebehov reduceres til 50 % af det daværende niveau frem til år 2000. Bygningsreglementet, der kom i 1995, medfører en reduktion på 25 %. Før en yderligere skærpelse iværksættes, gennemføres de nødvendige udredninger og forsøgsprojekter, der belyser de økonomiske, byggetekniske, indeklimate og komfortmæssige konsekvenser. Målsætningen er i år 2005 at nedbringe energibehovet i nybyggeriet til et niveau, der svarer til 50 %-målsætningen i Energi 2000, dvs. med yderligere 33 %.

For at kunne opfylde de skærpede krav er der et stort behov for udvikling af nye klimaskærmskonstruktioner med bedre isolering og mindre kuldebroer.

I 1998 startede 2. fase af EFP-projektet ”Klimaskærm til fremtidens nybyggeri og energirenovering”, og projektet afsluttedes år 2000. Projektet, som blev gennemført ved Institut for Bygninger og Energi (nu BYG•DTU) på Danmarks Tekniske Universitet i samarbejde med SBI (nu By og Byg), havde til formål at udvikle nye klimaskærmskonstruktioner, som gør det muligt at opfylde de forventede skærpede krav. De udviklede konstruktioners varmetekniske ydeevne er dog udelukkende underbygget ved detaljerede beregninger.

For at igangsætte processen mht. at implementere de udviklede konstruktionstyper er der et stort behov for at underbygge konstruktionernes ydeevne under realistiske forhold, da byggebranchen må have sikkerhed for at grundlaget er i orden før ideerne indføres. Derfor er der et behov for både at vise de nye konstruktioner i en realistisk sammenhæng samtidig med at deres beregnede ydeevne underbygges ved realistiske in-situ målinger.

Danske typehusproducenter har vist interesse for projektet, hvilket har gjort det muligt at opføre rigtige forsøgshuse. Gennem samarbejde, udvikling og projektering direkte med typehusproducenter og underleverandører i en realistisk sammenhæng, foregår implementeringen af de nye konstruktioner derved på en hensigtsmæssig måde.

For huset beskrevet i denne rapport, har BYG•DTU dog ikke medvirket ved udvikling, projektering og opførelse af huset. Imidlertid er der anvendt nogle nye typer højisolerede klimaskærmskonstruktioner i huset (især ydervægge og fundamenter/terrændæk), som betyder at dette med fordel kan indgå i projektet.

1.2 Formål

Projektets overordnede formål er at dokumentere den varmetekniske ydeevne for fremtidens klimaskærmskonstruktioner således at det eftervises at de forventede skærpelser til bygningsreglementet kan udføres byggeteknisk forsvarligt og indenfor fornuftige økonomiske rammer.

Det er hensigten at projektet skal medvirke til at styrke udviklingen af bedre klimaskærmskonstruktioner ved blandt andet at vise gode eksempler på integration af vinduer i de nye typer klimaskærmskonstruktioner samt illustrere hvordan husets systemer (gulvvarme- og ventilationsanlæg) kan udnyttes bedst muligt og derved medvirke til at nedbringe husets varmebehov. Desuden er det formålet at underbygge disse konstruktioners varmetekniske ydeevne ved at foretage detaljerede målinger af energiforbrug mv. Målingerne beskrives i særskilt rapport.

2 BEREGNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER MM.

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede beregninger af konstruktioner og samlingsdetaljers varmetabskoefficienter. Først gives en kortfattet beskrivelse af de enkelte konstruktioner og samlingsdetaljer samt varme- og ventilationssystemer. Herefter foretages beregninger af varmetabskoefficienter for hhv. konstruktioner og samlingsdetaljer, og der opstilles en samlet oversigt over resultaterne. Med hensyn til varmetabskoefficienterne foretages der beregninger af alle konstruktioner som indgår i huset samt alle de vigtigste samlingsdetaljer, dvs. de detaljer som indeholder de største kuldebrobidrag til det samlede transmissionstab.

Varmetabsberegninger er gennemført på baggrund af indvendige mål. Dette svarer ikke til metoden angivet i DS418, hvor visse konstruktioner regnes ud fra udvendige mål for at tage højde for kuldebroer som ikke direkte dækkes af beregningerne. I denne rapport medtages samtlige betydende kuldebroer direkte i beregningerne, og det er derfor ikke nødvendigt at justere arealerne for at tage højde for disse.

2.1 Beskrivelse af konstruktioner og systemer

Konstruktioner samt varme- og ventilationssystemerne beskrives kort i det følgende. Disse er vist dels i dette afsnit, dels i bilagssektionen.

2.1.1 Terrændæk

Konstruktionen består, regnet nedefra, af 200 mm komprimeret afrettet sand ($\lambda=2,000$ W/mK), 400 mm ekspanderet polystyren ($\lambda=0,042$ W/mK – de nederste 75 mm dog 0,055 W/mK), 100 mm betonklaplag ($\lambda=1,600$ W/mK) med gulvvarmeslanger og armeringsnet, ca. 30 mm flyde anhydrit ($\lambda=1,380$ W/mK), dampspærre og gulvbelægning i form af 14 mm lamelparket ($\lambda=0,120$ W/mK), undtagen i baderum. Gulvvarmeslangerne er beliggende i den nederste tredjedel af betonlaget.

2.1.2 Ydervæg

Ydervæggen består som basis af lette elementer i form af krydsfinerforbundne stålskeletter med 350 mm isolering ($\lambda=0,039$ W/mK) og inkl. dampspærre. Indvendig er der yderligere tilføjet 45 mm isolering ($\lambda=0,039$ W/mK) og 2x13mm gipspladebeklædning ($\lambda=0,200$ W/mK). Dampspærren er derved placeret beskyttet ift. udførelse af elinstallationer mm. Udvendigt er afsluttet med et 12,5 mm fibercementplade ($\lambda=0,350$ W/mK) og 12 mm dekorationspuds ($\lambda\approx 1,000$ W/mK).

Der er overalt i ydervægselementerne anvendt u-formede galvaniserede stålprofiler med godstykkelse på 1 mm, som passende steder er forbundet med 12 mm krydsfinerplader. Som lodrette profiler er anvendt typen KSK45, der har en 45 mm krop og har 50 mm flanger, mens der som vandrette profiler er anvendt typen KR45, der også har en 45 mm krop og ca. 42 mm flanger.

Nedenstående Figur 1 og bilag 10 viser hvordan et typisk element ser ud.



Figur 1. Billeder af typisk vægelement. Bemærk at stolperne ikke er udformet som gennemgående stålprofiler, idet kroppen er erstattet med krydsfiner. Dette betyder at kuldebroeffekten er minimal.

2.1.3 Indervæg

Indvendige skille vægge er opbygget af 70 mm stållægter med 2 lag 13 mm gips på begge sider, isoleret med 50 mm mineraluld.

2.1.4 Loft-/tagkonstruktion

Konstruktion består, regnet nedefra, af:

- 13 mm gipsplade ($\lambda=0,200$ W/mK) fastgjort til spredt forskalling (22 x 100 mm brædder pr. 0,3 m).
- 45 x 95 mm lægter pr. 1 m fastgjort til 45 x 145 mm spærfodder pr. 1 m.
- 100 mm isolering ($\lambda=0,039$ W/mK) mellem lægter.
- Dampspærren er placeret beskyttet mellem lægter og spærfodder, således at elinstallationer kan udføres uden væsentlig risiko for beskadigelse.
- 150 mm mineraluld ($\lambda=0,039$ W/mK) mellem spærfodder.
- 200 mm ubrudt mineraluld ($\lambda=0,039$ W/mK) over spærfodder.
- Venteret tagrum og tagsten på lægter med vindtæt undertag ($R=0,300$ m²K/W).
Tagrummet ventileres via kippen samt ventiler ved tagfod ud for hvert andet spærfag.

Alt træ forudsættes at være almindeligt konstrukstræ med en densitet på 450 kg/m³ ($\lambda=0,120$ W/mK).

I stuen er en del af loftkonstruktionen buet. Denne del (inkl. de vandrette dele på begge sider af den buede del) har 100 mm mindre isolering end loftet i resten af huset, se evt. bilag 4 (tværsnit B-B).

2.1.5 Vinduer og døre

Vinduer og døre er kombineret træ/aluminium (type Rational Aldus), hvor karm og ramme er udført i træ og beklædt udvendig med aluminium. Ruden er type Silverstar Deluxe fra GK-Glas, der består af (regnet ude fra): 4 mm glas, 24 mm 90/10 argon/luft mellemrum og 4 mm glas med lavemissionsbelægning på udvendig side. Til at holde afstand mellem de to glaslag er anvendt et afstandsprofil af aluminium, nærmere betegnet type Bendtech 24 med ækvivalent varmeledningsevne λ_k på 4,45 W/mK og en samlet varmeoverføringskoefficient (L-værdi) på 1,75 W/mK. Ruden har en center U-værdi på 1,00 W/m²K og en total

solenergitransmittans på 52 %. U-værdier for ramme-karm og Ψ -værdier for rudekant er der redegjort for i afsnit 2.3.4.

I Tabel 1 nedenfor er vist en oversigt over de enkelte vinduer og døre. Det fremgår heraf at det samlede areal af vinduer og døre er 26,4 m², svarende til ca. 18 % af det opvarmede etageareal.

Tabel 1. Oversigt over vinduer og døre, se bilag 7.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	A _f [m ²]	A _g [m ²]	l _g [m]	A [m ²]	Samlet Areal [m ²]
To fløjet vindue (B2310)	6	1,308	1,188	0,66	0,89	5,7	1,55	9,3
Enkelt vindue (B2300)	4	0,708	1,188	0,36	0,48	2,9	0,84	3,4
Sideparti (B1302)	1	0,948	2,118	0,81	1,20	7,8	2,01	2,0
Facadedør (B5200)	1	1,488	2,118	1,65	1,50	12,0	3,15	3,2
Terrassedør (B5100)	1	1,488	2,118	1,50	1,65	12,6	3,15	3,2
Specialelement (B1112)	1	1,958	2,978	0,99	4,41	24,6	5,40	5,4
I alt								26,4

2.1.6 Varmeanlæg

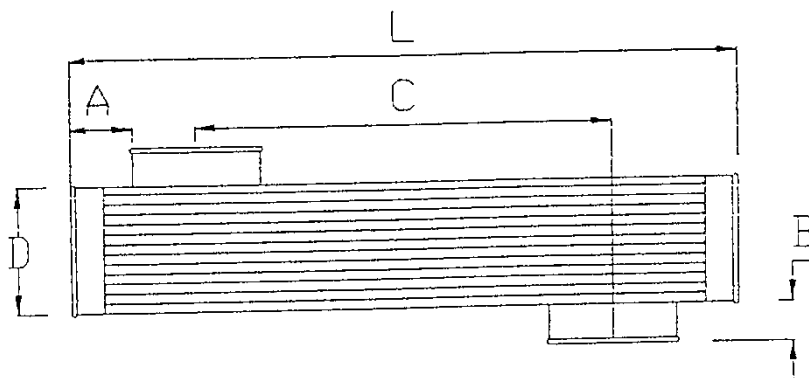
Varme leveres til huset via det lokale fjernvarmeværk.

Varmt brugsvand fremstilles i en pladevarmeveksler som styres af en AVTB ventil til indregulering af varmtvandstemperaturen (50 °C). Der er ikke cirkulation på varmt brugsvand.

Gulvvarme er installeret i alle rum, og udført i 20 mm Pexrør med 300 mm afstand. I alle rum undtagen badeværelser og bryggers er temperaturen på vandet i gulvvarmesystemet reguleret i et shunt-aggregat styret af Lintech trådløs rumtermostat. Gulvvarmen i badeværelser og bryggers går uden om shunt-aggregatet og styres af Danfoss FJVR ventiler med vandtemperaturføler.

2.1.7 Ventilationanlæg

Der er i huset installeret et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, der virker efter modstrømsprincippet. Modstrømsvarmeveksleren består af to sammenbyggede standardrør. Det standardrør der er brugt i det aktuelle hus består af et yderrør med en diameter på 200 mm, hvori der anbragt 282 parallelle inderrør af aluminium. I Figur 2 og Tabel 2 er standardrørets tekniske specifikationer beskrevet.



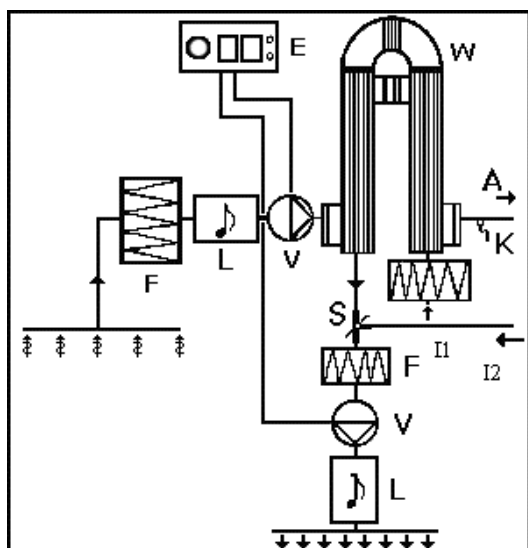
Figur 2. Standardrør i AIR-Wex varmeveksler.

Tabel 2. Beskrivelse af Ø200 mm standardrør vist i Figur 2.

D (mm)	Ø200
A (mm)	120
B (mm)	50
C (mm)	985
D (mm)	200
L (mm)	1425
Antal aluminiumsrør	282
Areal (m ²) *	10,1
Strømningstværsnit, rørbundter (m ²)	$9,35 \cdot 10^{-3}$
Strømningstværsnit, kapperum (m ²)	$17,24 \cdot 10^{-3}$

* teoretisk total overflade mellem luftstrømme

Det er muligt at sammenkoble standardrørene på forskellige måder, afhængig af pladsforholdene. I huset er de to rør bygget sammen som vist i Figur 3. Anlægget er placeret på loftet mellem spærene og består udover de to veksler af to ventilatorer med fremadkrummede skovle og med AC-motorer, to regulatorer, to lydsluser, to filtre (tre er vist i figur 3 – det pågældende anlæg har ikke et filter efter bypass spjældet) og to stk. 90° bøjning med spændebånd. Dertil kommer kanaler, fittings og ventiler. Kanaldimensionen er Ø160 ved indgang/udgang fra veksleren og aftrappes via Ø125 til Ø100 ved indblæsning/udsugning. I øvrigt kan nævnes at volumenstrømmen i anlægget kan reguleres trinløst.



- W Varmeveksler
- I 1 Internt luftindtag
- I 2 Ekstern luftindtag
- V Ventilator
- L Lydsluse
- F Filter
- S Bypass spjæld
- K Kondensdræn
- E Kontrolpanel
- A Luftafkast
- \rightarrow Luftudsugning
- \rightarrow Luftindblæsning

Figur 3. Skematisk oversigt over anlægget.

Varmeoverføringen mellem ude- og indeluften sker ved at luften strømmer modsatrettet hinanden henholdsvis inde i de små aluminiumsrør og uden om de små rør (i kapperummet). Det skal bemærkes at udsugnings- og indblæsningsventilatorerne er placeret ideelt (på den indvendige side), idet motorvarmen fra disse derved udnyttes til at forbedre varmegenvindingen.

Varmevekslerens virkningsgrad er blevet målt i forbindelse med en prøvning i Tyskland [9]. Der er tale om en nettovirkningsgrad, idet der er set bort fra ventilatorernes bidrag til opvarmning af luften. Målingerne blev udført på et enkelt standardrør, og for et Ø200 rør blev der målt en virkningsgrad på ca. 70 % ved en indetemperatur på 24°C, en udetemperatur på 5°C (svarende til middeltemperaturen i fyringssæsonen) og en relativ indeluftfugtighed på 40 % (kondensation i veksleren forekom ikke). Hvis der tages højde for motorvarme, kondensationsvarme og at der for det aktuelle anlæg er tale om to sammenkoblede vekslere, må der forventes en noget højere virkningsgrad i praksis. En temperaturvirkningsgrad (eller bruttovirkningsgrad) på ca. 90 % må på denne baggrund betragtes som et realistisk værdi, hvilket også stemmer godt overens med producentens angivelser ved typiske volumenstrømme.

Det skal bemærkes at der er benyttet ventilatorer med fremadkrummede skovle og med frekvensregulerede vekselstrømsmotorer. Derved er ventilatorens el-virkningsgrad i den lave ende, hvilket betyder at elforbruget vil være betydeligt. Ved valg af ventilatorer med bagudkrummede skovle drevet af jævnstrømsmotorer, kan elforbruget reduceres væsentligt, men anlægsudgifterne øges naturligvis. Der er senere i rapporten redegjort for målinger af elforbruget og de langsigtede økonomiske konsekvenser af et lavere elforbrug.

2.2 Beskrivelse af samlingsdetaljer

De vigtigste samlingsdetaljer, dvs. samlingen mellem terrændæk og ydervæg (fundamentet), samlingen mellem vindue og ydervæg (vinduestilslutninger) og samlingen mellem loft-/tagkonstruktion og ydervæg (tagfoden) fremgår af tegningerne i hhv. bilag 9,5 og 6.

Der skal dog her knyttes et par kommentarer til fundamentet. Fundamentet er utraditionelt, da det ikke, som det typisk er tilfældet, er ført ned til 90 cm dybde under terræn. Der er kun tale om en funderingsdybde på ca. 40 cm. Til gengæld har fundamentet en effektiv kuldebroafbrydelse samtidig med at fundament og omfangsdræn er sikret mod frosthævning pga. god vandret isolering mod kulde oppefra.

Fundamentet er varmeteknisk en særdeles god løsning, og derfor især velegnet ved gulvvarme.

Fundamentet er udformet lidt anderledes ved døre/glaspartier, hvor der er i den øverste udvendige del er benyttet en 190 x 190 mm letklinkerbetonblok (se bilag 4, snit B-B).

2.3 Beregning af konstruktioner, U-værdier

Beregningerne foretages på baggrund af den nye DS418 6. udgave (Beregning af bygningers varmetab). Standarden er netop blevet revideret, således at beregningen af U-værdien tager udgangspunkt i den deklarerede varmeledningsevne for isoleringsmaterialet bestemt ifølge de harmoniserede europæiske produktstandarder. Disse harmoniserede produktstandarder er trådt i kraft 1. marts 2002 og skal anvendes indenfor et år fra denne dato. Der er desuden sket ændring af beregningen af U-værdien i relation til bl.a. varmeledningsevnen for andre byggematerialer, ventilerede og uventilerede hulrum, luftspalter i isoleringslaget og korrektionen for bindere for at bringe DS 418 i overensstemmelse med den tilsvarende europæiske standard.

Som nævnt er det tilstræbt at følge de nye regler i denne rapport, men da langt de fleste materialer ikke på nuværende tidspunkt har oplysninger om deres deklarerede varmeledningsevne, bruges traditionelle værdier for den praktiske varmeledningsevne. Dette betyder at der for det konkrete hus er regnet med lidt for høje værdier for isoleringsmaterialer og lidt for lave værdier for betonen i fundament og terrændæk.

Der foretages beregning vha. det detaljerede beregningsprogram HEAT3 i forbindelse med loft-/tagkonstruktion. Ved beregning af vinduer og døre er anvendt beregningsprogrammet THERM.

2.3.1 Terrændæk

I huset anvendes gulvvarme. I henhold til DS418 skal materialelag og overgangsisolanser over varmeafgiveren, svarende til gulvvarmeslangerne i betonlaget, ikke regnes med i U-værdien. Gulvvarmeslangerne er placeret i den nederste del af betonlaget, og som en forenkling ses der derfor bort fra betonlaget. U-værdien er beregnet i Tabel 3.

Tabel 3. U-værdi for terrændæk.

Terrændæk med gulvvarme	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Isolans for jord			1,50
Isolering, EPS	0,325	0,042	7,74
Isolering, EPS (kapillarbrydende)	0,075	0,055	1,36
Sandopfyld	0,200	2,000	0,10
		$\Sigma R =$	10,70
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,093
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering i to lag)			0,000
U-værdi			0,093

2.3.2 Ydervæg

Ydervæggene indeholder kun kuldebroer i begrænset omfang, idet gennembrydninger af konstruktionen er foretaget med krydsfiner som kun leder varmen ca. 3 gange bedre end isoleringen.

Der er foretaget beregninger af de forskellige profiltværsnit der forekommer i elementerne. Der er tale om følgende tværsnit: 1x2 profiler, 1x2 profiler + krydsfiner og 2x2 profiler + krydsfiner (se Figur 1). De to sidste tværsnit forekommer både for KSK45 og KR45 profiler, men slås sammen under ét, da eneste forskel på de to typer er lidt større flanger for KSK45, hvilket stort set ingen effekt har på varmestrømmen. Det skal bemærkes at der ses bort fra indvendige lægter i form af 45 mm Z-profil og desuden de (få) 200 mm bredde plader til vandret afstivning af elementerne. Resultatet af beregningerne fremgår af Tabel 4, hvor også længden af de enkelte tværsnit er anført.

Varmetabet er udtrykt ved en L-værdi (det udvidede linietab), som foruden effekten af de to-dimensionale varmestrømme også inkluderer effekten af den ekstra 1-dimensionale varmestrøm.

Tabel 4. Kuldebroer i vægelementerne.

	1x2 profiler (KR45)	1x2 profiler + krydsfiner (KR45/KSK45)	2x2 profiler + krydsfiner (KR45/KSK45)
L-værdi [$10^{-3} \cdot \text{W/mK}$]	2,1	4,0	5,8
Linietabslængde [m]	107	158	65

På baggrund af beregningen af de kuldebroer der findes i vægelementerne, kan der bestemmes et tillæg til U-værdien beregnet uden hensyntagen til kuldebroer. Dette tillæg er beregnet til: 0,013 W/m²K. Den samlede U-værdi er beregnet i Tabel 5.

Tabel 5. Samlede gennemsnitlige U-værdi for ydervægselementerne.

Ydervæg	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Gips	0,026	0,200	0,13
Isolering, mineraluld	0,045	0,039	1,15
Krydsfiner	0,012	0,120	0,10
Isolering, mineraluld	0,350	0,039	8,97
Cementplade	0,0125	0,350	0,04
Puds	0,012	1,000	0,01
		$\Sigma R =$	10,58
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,095
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering m. forskudte samlinger)			0,000
Korrektion for kuldebroer (stål-/krydsfinerskelet)			0,013
U-værdi			0,108

2.3.3 Loft-/tagkonstruktion

Loft- og tagkonstruktionen beregnes vha. af det detaljerede beregningsprogram HEAT3. Ved modelleringen er foretaget følgende simplificeringer:

- Det ventilerede tagrum inkl. tagdækning har en isolans på 0,30 m²K/W (jf. DS418, tabel 6.5).
- Der ses bort fra spærfagenes gittertænger.
- Der ses bort fra delvise gennembrydninger af loftet over indervægge.
- Der ses bort fra at placeringen af varmeveksler og ventilationskanaler i loftsisoleringen resulterer i forøget varmetab. Dette er minimalt, da alle komponenter er ”pakket” godt ind i isolering, og derfor ikke giver anledning til en nævneværdig kuldebro.

Der opbygges en 3-dimensional model af et typisk udsnit af loftkonstruktionen, svarende til at der medtages 0,3 m af loftkonstruktionen på tværs af huset (svarende til centerafstanden for forskallingen) og 1,0 m af loftkonstruktionen på langs af huset (svarende til centerafstanden for spærene). Tagdækningen inkl. det ventilerede loftrum modelleres i form af en forhøjet overgangsisolans.

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til:

Ukorrigeret varmetabskoefficient, U' (beregnet i Heat3)	0,085
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering i to lag)	0,000
U-værdi	0,085

U-værdien for den buede del af loftet kan på tilsvarende vis beregnes til: 0,104 W/m²K.

2.3.4 Vinduer og døre

Der er foretaget detaljerede beregninger af de forskellige snit der forekommer i de enkelte vinduer- og døres ramme-karm konstruktion. De forskellige vindues- og dørtyper er vist i bilag 7, og i bilag 8 er vist et typisk snit i ramme-karm konstruktionen. Resultatet af beregninger af et bestemt snit er en U -værdi for ramme-karm (U_f) og en linietabsværdi for rudekanten (Ψ_g). På baggrund af disse beregninger er der beregnet en gennemsnitlig U_f - og Ψ_g -værdi for hvert vindue/dør, hvorefter en samlet U -værdi har kunnet bestemmes. Beregningerne er foretaget med programmet THERM og ud fra metoder beskrevet i Vindueskompendium 3 [10] omhandlende detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Resultatet af beregningerne fremgår af nedenstående Tabel 6. Arealer af rude og ramme-karm samt længde af rudekant fremgår af Tabel 1.

Den samlede U -værdi beregnes på følgende måde:

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

I kolonnen ”g total” længst til højre er angivet hvor mange procent af den solstråling der rammer vinduet som transmitteres ind i rummet. Jo større værdien er, desto mere solindfald.

Tabel 6. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre.

Vindues-/dørtype	Bredde [m]	Højde [m]	U_g [W/m ² K]	U_f [W/m ² K]	Ψ_g [W/mK]	U [W/m ² K]	g total [%]
To fløjet vindue (B2310)	1,308	1,188	1,00	1,37	0,089	1,49	30
Enkelt vindue (B2300)	0,708	1,188	1,00	1,35	0,090	1,46	30
Sideparti (B1302)	0,948	2,118	1,00	1,36	0,085	1,47	31
Facadedør (B5200)	1,488	2,118	1,00	1,51	0,092	1,62	25
Terrassedør (B5100)	1,488	2,118	1,00	1,50	0,089	1,60	27
Specialelement (B1112)			1,00	1,24	0,081	1,41	43

2.4 Beregning af samlingsdetaljer, Ψ -værdier

Beregninger af samlingsdetaljer foretages vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 og HEAT 3. I hvert af de efterfølgende afsnit er der givet en kortfattet gennemgang af hvordan beregningerne er gennemført (forudsætninger, randbetingelser osv.)

2.4.1 Terrændæk/ydervæg (kuldebro ved fundament)

I huset findes to typiske snit i fundamentet. Det ene er ved døre og høje vinduespartier og det andet er ved ydervæg. Sidstnævnte udgør langt hovedparten af fundamentets længde.

Beregning af varmetabet foretages ved at opbygge en model efter retningslinierne givet i annek D til DS418. I Tabel 7 er angivet mellemresultaterne for beregningen af fundament ved ydervæg.

Tabel 7. Resultater. Linietabskoefficient for fundament ved ydervæg. Opvarmningsperioden er defineret som september til maj.

Måned	T_{ude} [°C]	T_{ref} [°C]	$\Phi_{2-D, tot}$ [W/m]	$\Phi_{1-D, væg}$ [W/m]	$\Phi_{1-D, terr.}$ [W/m]	$\Psi_{fund} \cdot T$ [W/m]
-						
Januar	-0,21	10,96	8,43	2,83	3,94	1,76
Februar	-0,21	10,54	8,58	2,83	3,94	1,73
Marts	1,99	10,15	8,23	2,52	3,94	1,53
April	5,80	9,89	7,48	1,99	3,94	1,20
Maj	10,20	9,83	6,53	1,37	3,94	0,84
Juni	14,01	9,99	5,63	0,84	3,94	0,54
Juli	16,21	10,32	5,03	0,53	3,94	0,38
August	16,21	10,74	4,88	0,53	3,94	0,41
September	14,01	11,13	5,22	0,84	3,94	0,61
Oktober	10,20	11,39	5,97	1,37	3,94	0,94
November	5,80	11,45	6,93	1,99	3,94	1,30
December	1,99	11,29	7,82	2,52	3,94	1,60
Middel for opv. per.	5,54	10,74	7,24	2,03	3,94	1,28

T_{ude} svarer til lufttemperaturen ude.

T_{ref} svarer til temperaturen i referencepunktet. Referencepunktet er beliggende umiddelbart under det kapillarbrydende lag, 4 m fra den indvendige side af ydervæggen. T_{ref} aflæses direkte af den 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{2-D, tot}$ svarer til det samlede varmetab gennem samlingsdetaljen (dvs. 1,5 m ydervæg og 4,0 m terrændæk) i W/m. $\Phi_{2-D, tot}$ aflæses direkte af den detaljerede 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{1-D, væg}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem ydervæggen. Varmetabet bestemmes ved at fastlægge ydervæggens U-værdi (0,093 W/m²K), og gange denne med højden af væggen (1,5 m) og temperaturforskellen mellem inde og ude for hver enkelt måned.

$\Phi_{1-D, terr}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem terrændækket (4,0 m). Varmetabet bestemmes ved at fastlægge terrændækkets U-værdi uden at medtage jordisolansen (0,106 W/m²K), og gange denne værdi med bredden af terrændækket (4,0 m) og den gennemsnitlige temperaturforskel mellem indeluft og referencepunktet. I denne forbindelse tages temperaturen i referencepunktet som middelværdien for opvarmningsperioden, og derfor vil dette varmetab være konstant over året.

$\Psi_{fund} \cdot T$ fastlægges som forskellen på det 2-dimensionale og 1-dimensionale varmetab. Fundamentsløsningens linietabskoefficient kan herefter bestemmes ved at fastlægge middelværdien for $\Psi_f \cdot T$ for opvarmningsperioden (september – maj) og dividere denne størrelse med den gennemsnitlige temperaturdifferens mellem inde og ude for opvarmningsperioden (20 – 5,54 = 14,46 °C).

Linietabskoefficienten for fundament ved ydervæg: $\Psi_{fund} = 0,089 \text{ W/mK}$

Linietabskoefficienten for fundament ved døre og høje vinduespartier beregnes på tilsvarende vis: $\Psi_{fund, åbninger} = 0,185 \text{ W/mK}$

2.4.2 Vinduestilslutninger (kuldebro ved fals)

Beregning af linietafskoefficienter foretages ved at opbygge en model efter retningslinierne givet i aneks C til DS418. Der foretages en beregning af underfals og sidefals (overfals og sidefals er ens). Der opbygges en model af et lodret hhv. vandret snit i samlingen mellem vindue og ydervæg. Følgende antagelser anvendes i beregningerne:

- Der anvendes en ækvivalent varmeledningsevne for glasdelen af vinduet svarende til at glasdelen har en U-værdi på $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- I modellen medtages 200 mm af glasset og 500 mm af ydervæggen.

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og herudfra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges et adiabatisk snit hvor vinduet grænser op til den øvrige konstruktion. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen, og da der allerede er taget højde for de konstruktive kuldebroer i samlingen/ydervæggen, er alle effekter dækket ind. Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20°C) svarer til linietafskoefficienten for samlingen.

Linietafskoefficienten for underfals:

$$\Psi_{\text{underfals}} = 0,028 \text{ W/mK}$$

Linietafskoefficienten for side og overfals:

$$\Psi_{\text{sidefals/overfals}} = 0,037 \text{ W/mK}$$

2.4.3 Loft-/tagkonstruktion/ydervæg (kuldebro ved tagfod)

Der opbygges en 3-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen mellem ydervæg og loft-/tagkonstruktion. Det typiske udsnit svarer til at der i modellen medtages netop ét spær, dvs. 1 m af loft-/tagkonstruktionen. Af ydervæggen modelleres 0,5 m under loftets underside og af loft-/tagkonstruktionen modelleres (vandret) 1,5 m fra indersiden af ydervæggen. Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk planer, så hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien og spæret i samlingen. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietafet for samlingen.

Linietafskoefficienten for tagfod:

$$\Psi_{\text{tagfod}} = 0,029 \text{ W/mK}$$

2.4.4 Ydervæg/ydervæg (kuldebro ved ydervægshjørne)

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen ved ydervægshjørnet. Af ydervæggen modelleres 0,5 m op til hjørnet (indvendige mål).

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk planer, så hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietafet for samlingen.

Linietafskoefficienten for ydervægshjørne:

$$\Psi_{\text{hjørne}} = 0,028 \text{ W/mK}$$

2.5 Sammenfatning af resultater

På baggrund af varmetransmissionskoefficienterne fastlagt i de foregående afsnit, kan der nu gennemføres en beregning af husets samlede varmetabskoefficient, og samtidig kan det dimensionerende varmetab bestemmes. I Tabel 8 er den samlede varmetabskoefficient for huset beregnet og i Tabel 9 er det dimensionerende varmetab beregnet. I sammenfatningen af resultaterne i Tabel 8 er størrelsen af vinduer og døre angivet som murhulsmål, da fugen mellem ydervæg og vindue/dør iht. DS418 kan tillægges samme U-værdi som vinduet/døren. Der er regnet med en fugebredde på 12 mm.

Tabel 8. Sammenfatning af resultater af varmetabsberegninger.

Konstruktioner	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]
Terrændæk	0,093	120,0	11,2
Ydervæg	0,108	92,6	10,0
Loft-/tagkonstruktion, plant	0,085	110,1	9,3
Loft-/tagkonstruktion, buet	0,104	15,1	1,6
Vindue B2310 (1,332 x 1,212 m - 6 stk.)	1,49	9,7	14,4
Vindue B2300 (0,732 x 1,212 m - 4 stk.)	1,46	3,6	5,2
Vindue B1302 (0,972 x 2,142 m - 1 stk.)	1,47	2,1	3,1
Vindue 1112 (specialelement)	1,41	5,4	7,6
Dør B5200 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	1,62	3,2	5,2
Dør B5100 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	1,60	3,2	5,2
ΣUA =			72,8
Samlinger	Ψ [W/mK]	l [m]	Ψ·l [W/K]
Fundament	0,089	44,3	3,9
Fundament ved døre/høje vinduespartier	0,185	6,0	1,1
Overfals	0,037	17,9	0,7
Sidefals	0,037	40,6	1,5
Underfals	0,028	10,8	0,3
Tagfod	0,029	50,3	1,5
Ydervægshjørner	0,029	19,0	0,6
ΣΨl =			9,5
ΣUA+Ψl =			82,3

Huset samlede varmetabskoefficient er altså 82,3 W/K. Opgjort pr. m² opvarmet etageareal fås 0,57 W/m²K. Den sidstnævnte værdi er relevant hvis huse af forskellig størrelse skal sammenlignes.

Tabel 9. Dimensionerende varmetab (rumtemperatur på 20°C overalt).

Konstruktioner	U·A [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Terrændæk	11,2	30-10	224
Ydervæg	10,0	20-(-12)	319
Loft-/tagkonstruktion	9,3	20-(-12)	299
Loft-/tagkonstruktion, buet	1,6	20-(-12)	50
Vindue B2310 (1,332 x 1,212 m – 6 stk.)	14,4	20-(-12)	460
Vindue B2300 (0,732 x 1,212 m – 4 stk.)	5,2	20-(-12)	166
Vindue B1302 (0,972 x 2,142 m – 1 stk.)	3,1	20-(-12)	98
Vindue 1112 (specialelement)	7,6	20-(-12)	244
Dør B5200 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	5,2	20-(-12)	168
Dør B5100 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	5,2	20-(-12)	165
ΣKonstruktioner =			2194
Samlinger	Ψ·l [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Fundament	3,9	30-(-12)	166
Fundament ved døre/høje vinduespartier	1,1	30-(-12)	47
Overfals	0,7	20-(-12)	21
Sidefals	1,5	20-(-12)	48
Underfals	0,3	20-(-12)	10
Tagfod	1,5	20-(-12)	47
Ydervægshjørner	0,6	20-(-12)	18
ΣSamlinger =			355
Σkonstruktioner + samlinger =			2549
Ventilationstab $0,34 \cdot (0,76 \text{ h}^{-1} \cdot 10 \% + 0,10 \text{ h}^{-1}) \cdot 285 \text{ m}^3 \cdot (20-(-12))^\circ\text{C} =$			545
Dimensionerende varmetab			3094

I Tabel 9 er ventilationstabet beregnet ud fra den sædvanlige tilnærmede formel: $\Phi_v = 0,34 \cdot n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_e)$. Det er forudsat et mekaniske luftskifte på 60 l/s (se afsnit 3.1) svarende til et luftskifte på $0,76 \text{ h}^{-1}$, en varmegenvindingsgrad på 90 % samt et luftskiftet pga. utætheder i klimaskærmen på $0,1 \text{ h}^{-1}$ (se afsnit 3.1).

Det fremgår af Tabel 9 at det dimensionerende varmetab er ca. 3,1 kW. Desuden ses at ventilationstabet udgør en forholdsvis lille andel, idet ventilationsanlæggets varmegenvinder har en effektivitet på ca. 90 %. Det fremgår også af tabellen at det dimensionerende transmissionstab udgør 2549 W, mens samlingernes andel heraf er 355 W.

Kuldebroandelen af det dimensionerende transmissionstab er større end samlingernes andel, da kuldebroerne i vinduer (rudekant) og ydervægge (krydsfiner-/stålskelet) ikke er medtaget heri. Kuldebrobidraget fra rudekanten eller nærmere betegnet termorudens afstandsprofil (udtrykt ved Ψ_g) dækker den samlede to-dimensionale varmestrøm igennem afstandsprofilen og samlingen mellem rude og karm, ramme eller sporse. Kuldebrobidraget fra krydsfiner-/stålskeletet i ydervægselementerne (udtrykt ved en L-værdi – udvidet linietab) dækker foruden effekten af de to-dimensionale varmestrømme også effekten af den ekstra 1-dimensionale varmestrøm. Der ses bort fra den forholdsvis lille kuldebro som spærfoden i loftkonstruktionen giver anledning til.

Den samlede kuldebroandel kan herefter bestemmes, se Tabel 10.

Tabel 10. Kuldebroandel (samlinger inkl. effekt af rudekant og krydsfiner-/stålskelet).
Rudekant-andelen for hver vindues-/dørtype er beregnet som $\Psi_g \cdot l_g \cdot \text{antal vinduer/døre}$.

Kuldebroandel	W/K	ΔT [°C]	Φ [W]
Fundament	3,9	30-(-12)	166
Fundament ved døre/høje vinduespartier	1,1	30-(-12)	47
Overfals	0,7	20-(-12)	21
Sidefals	1,5	20-(-12)	48
Underfals	0,3	20-(-12)	10
Tagfod	1,5	20-(-12)	47
Ydervægshjørner	0,6	20-(-12)	18
Ydervæg (krydsfiner-/stålskelet)	1,2	20-(-12)	38
Vindue B2310 (1,332 x 1,212 m - 6 stk.)	3,1	20-(-12)	98
Vindue B2300 (0,732 x 1,212 m - 4 stk.)	1,1	20-(-12)	34
Vindue B1302 (0,972 x 2,142 m - 1 stk.)	0,7	20-(-12)	21
Vindue 1112 (specialelement)	2,0	20-(-12)	64
Dør B5200 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	1,1	20-(-12)	36
Dør B5100 (1,512 x 2,142 m - 1 stk.)	1,1	20-(-12)	36
Total			682

Det samlede dimensionerende transmissionstab er som nævnt 2549 W, mens kuldebroerne udgør 682 W heraf, svarende til ca. 26 %. Dette er en relativt høj kuldebroandel, som dog ikke er overraskende, idet der er tale om et meget velisoleret hus.

Varmetabet fra rudekanten bidrager væsentligt til denne andel (udgør 43 %), hvilket primært skyldes at der er brugt et traditionelt afstandsprofil af aluminium. Var der i stedet for anvendt et ikke-metallisk profil (f.eks. type Thermix eller Swisspacer), ville rudekanttabet (Ψ_g) kunne være reduceret til ca. det halve. Kuldebroandelen kunne derved reduceres til ca. 535 W, svarende til 21 % af det samlede dimensionerende varmetab.

3 BEREGNING AF ENERGIFORBRUG OG INDEKLIMA

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede simuleringer af det forventede energiforbrug og indeklima. Der foretages en simulering af huset som helhed, hvor effekten af effektiv varmekapacitet, solindfald samt detaljerede beskrivelser af de anvendte systemer indgår.

3.1 Beskrivelse af bygningsmodel

Beregningsmodellen opbygges i BSIM2000.

3.1.1 Zoner

Bygningen opdeles i 10 forskellige zoner, svarende til rumopdelingen. I hver af de enkelte zoner defineres de omkringliggende konstruktioner svarende til ydervæg, indervæg, terrændæk, loft-/tagkonstruktion, vinduer og døre. Alle rum forudsættes opvarmet til 20 °C, svarende til den normale dimensionerende indetemperatur i boliger.

3.1.2 Kuldebroer

De beregnede kuldebroeffekter, f.eks. ved fundament, vinduestilslutninger og tagfod, beskriver det ekstra varmetab som opstår i samlingerne set i forhold til en ideel samling, hvor kun U-værdien for vindue, væg, terrændæk og loft/tag indgår. Disse kuldebroer defineres i BSIM2000 i form af en forhøjelse af varmeledningsevnen af isoleringen i ydervæggen. Effekten af vinduernes rudekant kan medtages direkte ved definering af vinduer BSIM2000.

Varmetabet via fundamentet forhøjes med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold (nærmere forklaring i afsnit 3.1.6).

3.1.3 Infiltration/exfiltration

Bygningen antages at være ”særligt tæt”, hvorfor der iht. DS418 kan regnes med et luftskifte pga. utætheder i klimaskærmen på 0,1 h⁻¹ for samtlige zoner.

3.1.4 Intern varmelast

Den gennemsnitlige interne varmelast fra personer, belysning og el-udstyr fastsættes med udgangspunkt i SBI-anvisning 184 [11] til 5 W/m² opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af huset og hele døgnet i fyringssæsonen. Dette er en simpel og rimelig måde at medtage den interne varmelast. En mulighed er også at specificere et normalt brugsmønster for huset, men indvirkningen på opvarmningsbehovet skønnes at være minimal. Ved en ikke-jævn intern varmelast vil der dog kunne forventes en mærkbar indvirkning på indetemperaturen, men da der normalt ikke opholder sig personer i et beboelseshus i de kritiske timer midt på dagen, vil den jævnt fordelte interne varmelast være på den sikre side.

3.1.5 Udluftning

I bygningen antages det at der foretages udluftning (f.eks. ved at åbne vinduer) ved temperaturer over 24 °C. I simuleringen modelleres dette så der så vidt muligt ikke forekommer temperaturer over 24 °C nogen steder i bygningen, svarende til at der i tilfælde at en for høj temperatur igangsættes en udluftning af det pågældende rum med et luftskifte på 5 h⁻¹.

3.1.6 Opvarmning

I samtlige rum defineres opvarmning svarende til en samlet maksimal effekt på ca. 3,1 kW (jf. beregning af dimensionerende varmetab). Programmet BSIM2000 giver endnu ikke mulighed for at definere gulvvarme på en fyldestgørende måde, og i stedet for defineres opvarmningen som radiatoropvarmning.

Gulvvarmeslangerne vil naturligvis have en højere temperatur end rumluften, og derfor defineres zonen under huset (den fiktive zone ”jord”) som havende en temperatur på 0 °C i stedet for de normalt anvendte 10 °C. Den reducerede jordtemperatur svarer altså til at der haves en temperaturdifferens mellem oversiden af betondækket og jorden på 20 °C, som igen svarer til den dimensionerende gulvvarmeslangetemperatur på 30 °C minus jordtemperaturen på 10 °C.

Kuldebroen i forbindelse med fundamentet vil ligeledes skulle fastlægges på baggrund af en temperaturforskel på 30 °C minus udetemperaturen (5 °C). For at medtage dette forhold i beregningerne øges kuldebroens størrelse med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold, svarende til: $(30-5)/(20-5) = 1,67$.

3.1.7 Ventilation

Ventilationen i huset foregår med mekanisk ventilation med varmegenvinding. I overensstemmelse med BR-S 98 [12] fjernes indeluft svarende til 20 l/s fra køkken, 15 l/s fra baderum og 10 l/s fra bryggers/entre. I de øvrige rum tilføres der udeluft. På baggrund af anvisningen opstilles der en luftbalance for huset, og herudfra fastlægges indblæsningen for de øvrige rum. Der er regnet med en temperaturvirkningsgrad for varmeveksleren på 90 % (jf. afsnit 2.6).

Det forudsættes at ventilationsanlægget er i drift hele fyringssæsonen og at reguleringen af anlægget er tilpasset så der i denne periode til enhver tid genvindes varme svarende til de 90 % (anlægget prioriteres altid før opvarmningsanlægget). I sommerperioden, hvor der stort set ikke er et opvarmningsbehov, forudsættes at varmegenvinderen by-passes (ingen varmegenvinding), således at der blæses ind med samme temperatur som udeluften.

3.2 Simulering

Simuleringen med bygningsmodellen foretages på baggrund af programmets rutiner og der anvendes i denne forbindelse referenceåret Design Reference Year (Danmark.DRY) [13] 1990 som udvendigt klima. Data i Danmark.DRY er identiske med data i Cph.DRY, blot udvidet med information om skydækket om natten og tilføjet vindretningen i alle timer. Førstnævnte informationer er relevante, idet der er regnet med langbølget strålingsudveksling til himlen. Som model for beregning af solindfald er anvendt Perez [14].

Resultaterne som præsenteres i det efterfølgende afsnit 3.3 er værdier for fyringssæsonen, svarende til perioden uge 1 til uge 18 og uge 18 til uge 52, dvs. fra midt i september måned til begyndelsen af maj måned. Der præsenteres dog også resultater fra sommerperioden i forbindelse med analyser af indeklimaet.

3.2.1 Grundmodel

Grundmodellen er en model af huset, som beskrevet ovenfor. Der er tale om en model med vinduer og døre hvor U-værdien ligger på 1,4-1,6 W/m²K, hvor infiltrationen er 0,1 h⁻¹, hvor

det interne varmetilskud er 5 W pr. m² opvarmet etageareal og hvor ventilationsmængden er sat til 60 l/s. Det samlede luftskifte er ca. 0,86 h⁻¹.

Energirammen for huset ifølge gældende regler er følgende:

$$Q_r = \frac{280 \text{ MJ} / \text{m}^2}{3,6 \text{ MJ} / \text{kWh}} \cdot 145 \text{ m}^2 = 11278 \text{ kWh}$$

Kravet var tidligere 250 MJ pr. m², men efter man i forbindelse med revisionen af DS418 har ændret reglerne for opgørelse af transmissionsarealer og indregning af kuldebroer, så får man i princippet et 10-15 % større varmetab end det man beregnede efter de gamle regler. Der er derfor indført en lempelse af energiramme kravet (pr. 1/2 –2001, jf. tillæg 1 til BRS98).

Et af projektets formål er at huset skal have et opvarmningsbehov svarende til mindst en reduktion på 33 % ift. energirammen. Målet er derfor:

$$Q_{67\%} = 11278 \cdot 67 \% = 7556 \text{ kWh}$$

3.2.2 Parametervariationer

Da det beregnede opvarmningsbehov er forholdsvis lavt vil dette være meget afhængigt af selv små afvigelser i forudsætningerne. Derfor er der gennemført variationer svarende til at der foretages ændringer i størrelsen af det interne varmetilskud, effektiviteten af varmegenvindingsenheden, størrelsen af infiltrationen og gulvvarmeslangernes temperatur. I Tabel 11 er vist en oversigt og nedenfor en kort forklaring.

Tabel 11. Beskrivelse af parametervariationer.

Modelnavn	Internt Varmetilskud [W/m ²]	VG effektivitet [%]	Infiltration [h ⁻¹]	Gulvvarme- temperatur [°C]
Grundmodel	5	90	0,10	30
IV 3	3	90	0,10	30
VG 80	5	80	0,10	30
INF 005	5	90	0,05	30
GV 25	5	90	0,10	25

IV 3: I denne model er det interne varmetilskud reduceret fra 5 W/m² til 3 W/m². En sådan reduktion er realistisk, hvis elforbruget til belysning og eludstyr reduceres gennem valg af energirigtige apparater.

VG 80:

Dårlig vedligeholdelse i form af f.eks. sjældne skift af filtre, utætheder i kanalsystem/aggregat mv. kan resultere i en lavere effektivitet. Derfor simuleres en model hvor varmegenvindings effektivitet er sat til 80 % i stedet for 90 %.

INF 005:

I denne model er infiltrationen af udeluft gennem klimaskærmen reduceret fra de forudsatte 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Ud fra denne model er det muligt at vurdere hvor stor en betydning lufttætheden af klimaskærmskonstruktionerne har for varmebehovet.

GV 25

I denne model forudsættes gulvvarmeslangernes gennemsnitlige temperatur i fyringssæsonen at være 25 °C frem for de oprindelige 30 °C.

3.2.3 Nye energibestemmelser: Bruttoenergiramme

I september 2001 udsendte Statens Byggeforskningsinstitut (By og Byg) et oplæg til energibestemmelser i Bygningsreglement år 2005 (og skitser til bestemmelser i år 2012). Oplægget går kort fortalt ud på, at der ikke kun skal fokuseres på bygningens varmeisolering, men også på energieffektiv bygningsudformning og installationer samt størst mulig udnyttelse af solenergi. Der er derfor lagt op til at energirammen skal beregnes som energibehovet til opvarmning, ventilation og køling, som indeholder varmebehovet til rumopvarmning og varmt brugsvand, energitabet og el-behovet i kedelanlæg, el-behovet til pumper i varme- og varmtvandsanlæg, el-behovet til ventilatorer samt el-behovet til køling. Energiforbruget bestemmes som summen af varmebehovene plus 3 gange summen af el-behovene. Denne faktor 3 svarer nogenlunde til prisforskel og forskel på primær energiforbrug og miljøbelastning ved henholdsvis varme- og elforbrug. Varme- og el-produktion fra solenergianlæg (solvarme- og solcelleanlæg) i bygningen kan modregnes.

Det vil på denne baggrund være relevant at undersøge om huset opfylder den kommende nye bruttoenergiramme, som der altså er lagt op til skal gælde fra år 2005.

3.3 Resultater

I dette afsnit gennemgås resultaterne af de detaljerede simuleringer af det forventede opvarmningsbehov og indetemperaturforhold. Desuden foretages beregning af huset samlede energiforbrug på baggrund af metode i By og Byg's oplæg til nye energibestemmelser 2005.

3.3.1 Grundmodel

Varmebalancen for grundmodellen er vist i Tabel 12. I bilag 11 er bidragene til varmebalancen anført for hver måned i fyringssæsonen og desuden er månedsmiddelt temperaturen inde og ude anført.

Tabel 12. Resultater for grundmodel.

Varmebalance		KWh pr. år
Q Opv	Energiforbrug til rumopvarmning	3747
Q Inf	Nettobidrag ved infiltration	-867
Q Udl	Varmetab ved udluftning (>24 °C)	-150
Q Sol	Energi tilført ved solindfald	1779
Q Intern	Varme tilført fra personer & udstyr	4037
Q Transm	Transmissionstab via klimaskærmen	-7905
Q Mix	Ventilationstab til naborum	27
Q Vent	Ventilationstab via ventilationsanlæg	-669
I alt		0

Med baggrund i forudsætningerne vedrørende lufttæthed, udluftning, internt varmetilskud osv., er opvarmningsbehovet bestemt til at være 3747 kWh/år, svarende til 33 % af den nugældende energiramme. Målsætningen om et opvarmningsbehov på 67 % af energirammen er derfor til fulde opfyldt.

Af Tabel 12 fremgår det også at transmissionstabet via vinduer og døre udgør 3701 kWh, svarende til 47 % af det totale transmissionstab, hvilket ikke er en overraskende høj andel, da isoleringstykkelsen i gulv-, væg- og loftfladerne er ca. 400 mm. Den høje andel viser også at hvis man realistisk set skal nedsætte opvarmningsbehovet yderligere, er det udvikling på vinduesområdet man skal tage fat på.

3.3.2 Parametervariationer.

Resultater af parametervariationerne er vist i Tabel 13.

Tabel 13. Parametervariationer. Varmebalance for de enkelte modeller. Angivet i kWh pr. år.

	Grundmodel	IV 3	VG 80	INF 005	GV 25
Q Opv	3747	5170	4373	3368	3361
Q Inf	-867	-857	-863	-435	-870
Q Udl	-150	-69	-124	-175	-180
Q Sol	1779	1779	1779	1779	1779
Q Intern	4037	2428	4037	4037	4037
Q Transm	-7905	-7823	-7880	-7928	-7479
Q Mix	27	35	11	25	23
Q Vent	-669	-663	-1333	-671	-671

Modellen IV 3 blev simuleret for at undersøge hvilken betydning det ville have for opvarmningsbehovet, hvis det interne varmetilskud reduceredes fra 5 W/m² til 3 W/m². Dette har naturligvis en stor effekt, da det interne varmetilskud for grundmodellen faktisk er af samme størrelsesorden som opvarmningsbehovet. Varmebehovet øges med 1423 kWh svarende til ca. 38 %.

Modellen VG 80 viser at hvis VG'en har en lidt dårligere effektivitet (80%) end forventet (90 %) vil dette resultere i en forøgelse af opvarmningsbehovet med ca. 600 kWh. Størrelsen af denne effekt er naturligvis ikke overraskende, idet der ved 90 % effektivitet genvindes knap 6000 kWh varme.

Modellen INF005 viser effekten af at varmetabet forårsaget af infiltration gennem utætheder i klimaskærmen reduceres fra et luftskifte på 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Det ses, at der kan spares ca. 400 kWh. Det er erfaringer fra andre forsøgshusbyggerier, at infiltrationstabet kan reduceres til mellem 0,05 og 0,10 h⁻¹, hvis der udøves særlig omhu ved tætning af samlinger, gennembrydninger mv. Det er også erfaringen at denne gode tæthed kan opnås ved konsekvent planlægning og omhyggelig udførelse og reparation af uundgåelige huller. Det skulle ikke være nødvendigt at anvende dyr og kompliceret teknologi.

Modellen GV 25 viser at gulvvarmeslangernes temperatur ikke er helt uden betydning for det samlede opvarmningsbehov. Hvis den gennemsnitlige temperatur er 25 °C i stedet for 30 °C opnås en besparelse på ca. 400 kWh. Besparelsen opnås ved et mindsket varmetab gennem terrændæk og fundament.

3.3.3 Energirammeberegning – Bygningsreglement 2005

Energirammen for boliger er i oplægget til nye energibestemmelser fastsat til 270 MJ/m² pr. år svarende til 10875 kWh pr. år for huset. Det betyder at husets samlede energibehov til opvarmning, varmt brugsvand, ventilation og køling pr. m² opvarmet etageareal højst må antage denne værdi.

I Tabel 14 er foretaget en beregning af bruttoenergirammen iht. ovennævnte oplæg. Forudsætningerne for beregninger er beskrevet i detaljer på side 25 og 26 i dette oplæg. Det skal påpeges at der er tale om et udkast til beregningsmetode.

I oplægget er der specifikt angivet krav til maksimalt elforbrug i ventilationsanlæg. Dette er $2,2 \text{ kJ/m}^3$ (det nuværende er $3,2 \text{ kJ/m}^3$), og det er det der er regnet med ovenfor. Hvis anlægget skal levere friskluft svarende til de 60 l/s ($=216 \text{ m}^3/\text{h}$) som bygningsreglementet foreskriver for det aktuelle hus, må effektoptaget ikke overstige 132 W . Målinger på ventilationsanlægget i huset viser at effektoptaget er ca. 150 W ved $225 \text{ m}^3/\text{h}$ og 85 W ved $183 \text{ m}^3/\text{h}$. Der kan i den forbindelse konkluderes to ting: Det konkrete anlæg overholder lige netop kommende krav til ventilationsanlæggets energieffektivitet, og det forudsatte forbrug er altså tæt på det korrekte.

Tabel 14. Beregning af bruttoenergiramme. Alle tal-angivelser er i $\text{kWh}/\text{år}$. Det skal bemærkes at metoden foreskriver at el-behov indgår med en faktor 3.

Varme- og el-behov	Energibehov	Energiramme-beregning	Bemærkninger/forudsætninger
Rumopvarmning	3747	3747	Huset opv.behov, se afsnit 3.3.1
Varmt brugsvand (VBV)	2014	2014	$50 \text{ MJ/m}^2/\text{år}$ svarende til $2014 \text{ kWh}/\text{år}$, hvilket svarer til $265 \text{ liter/m}^2/\text{år}$ ved opvarmning fra 10 til 55°C .
Varmetab fra VV-Beholder	656	262	60% kommer huset til nytte
Varmetab fra VV-rør	0	0	Der regnes ikke med varmetab fra varmerør i den opv. del af bygn.
Varmetab fra VBV-rør	0	0	Ingen VBV cirkulation.
El-behov i varmeanlæg	112	336	Lille pumpe i konstant drift i fyringssæson.
El-behov i kedelanlæg	0	0	Huset er forsynet med fjernvarme.
El-behov i VBV-anlæg	117	351	Cirkulationspumpe i VBV-anlæg der betjener én bolig.
El-behov i ventilationsanlæg	1156	3468	Forbrug: $2,2 \text{ kJ/m}^3 = 132 \text{ W}$, v. 60 l/s . Driftid: Hele året.
El-behov køling	0	0	
I alt	-	10178	

Det fremgår af Tabel 14 at huset lige netop opfylder energirammen iht. det nuværende oplæg til energibestemmelser i 2005. Man kan derfor umiddelbart synes at de foreslåede fremtidige krav er meget skrappe, når et meget velisoleret hus med ventilation med varmegenvinding kun lige netop opfylder kravene. Dette er dog helt bevidst, idet man ønsker at motivere til at der anvendes energieffektive installationsløsninger og at der fokuseres på størst mulig udnyttelse af solenergi (solvarme- og solcelleanlæg).

For det aktuelle hus er el-behovet i ventilationanlægget forholdsvis stort, og det indgår derfor i energirammen med et betydeligt bidrag (næsten lige så stort som behovet for rumopvarmning). El-behovet kan nedbringes betydeligt ved brug af mere energieffektive komponenter samt ved fokus på en energieffektiv udformning af kanalsystem mm. Hvis f.eks. der anvendes ventilatorer med DC-motorer i stedet for AC-motorer kan el-forbruget reduceres

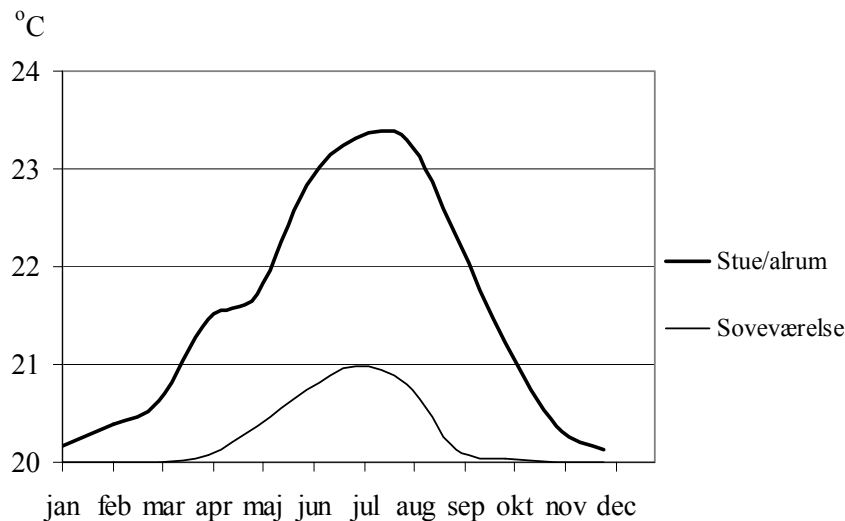
betydeligt svarende til i størrelsesordenen 50 %. Den typiske simple tilbagebetalingstid for et sådan tiltag vil ligge på ca. 5-10 år.

Det er altså ikke overraskende at huset kun lige kan opfylde kravene, når ventilationanlæggets energieffektivitet er forholdsvis dårlig og at der ikke anvendes solenergianlæg.

3.3.4 Indeklima

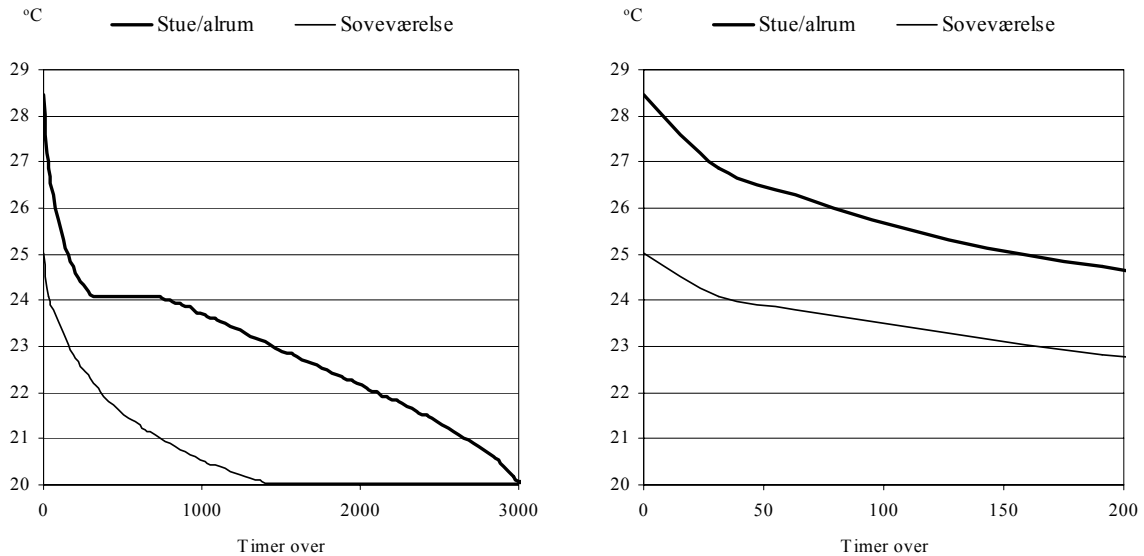
Der er foretaget simuleringer af de forventede temperaturforhold i huset for grundmodellen, og disse sammenholdes med specifikationer i norm vedrørende termisk indeklima. Det er valgt at betragte det mest kritiske rum og mindst kritiske rum, svarende til det overvejende sydvendte stue/alrum og soveværelset i det nordvestlige hjørne af huset.

I Figur 4 er i første omgang vist den gennemsnitlige operative temperaturs variation i disse rum i løbet af et år. Det ses at temperaturen er væsentligt højere i den overvejende sydvendte stue/alrum end i soveværelset, hvilket naturligvis primært skyldes et væsentligt større solindfald. Det lille knæk på kurven for stue/alrum skyldes forudsætningen vedrørende at ”bypasse” varmegenvinderen i sommerperioden.



Figur 4. Månedsmiddelttemperaturen i stue/alrum og soveværelse i løbet af året.

Figur 4 fortæller ikke noget om hvor højt temperaturen når op og hvor længe. Derfor er der i Figur 5 vist to akkumulerede temperaturkurver, der for en given temperatur viser, hvor mange timer temperaturen overstiger denne i sommerperioden. Det ses af figuren, at de høje temperaturer (over 24 °C) generelt forekommer i et relativt begrænset antal timer. I stue/alrum overstiger temperaturen f.eks. 26 °C i ca. 80 timer og 27 °C i ca. 40 timer. Der forekommer ikke temperaturer over 26 °C i fyringssæsonen.



Figur 5. Viser hvor mange timer indetemperaturen overstiger en given temperatur i sommerperioden (uge 19-37). Kurverne til højre er et udsnit af kurverne til venstre. Et år har 8760 timer.

Hvis man skal vurdere om der er tale om fornuftige temperaturniveauer, kan man tage udgangspunkt i norm for specifikation af termisk indeklima (DS 474) [15]. Kravene til den operative temperatur for varme dage med let sommerbeklædning og stillesiddende aktivitet kan ifølge denne formuleres som følgende:

- >26 °C i højst 100 timer i opholdstiden i løbet af et typisk år.
- >27 °C i højst 25 timer.

Opholdstiden defineres som det tidsrum, udover ganske korte tidsrum, hvor mennesker opholder sig i rummet.

I øvrigt angiver normen at det for siddende personer med almindelig indendørsbeklædning kan forventes, at mindre end 10 % af en gruppe personer er utilfredse med det generelle termiske klima, hvis den operative temperatur i opholdszonen ligger mellem 20 og 24 °C. Under sommerforhold, hvor det er normalt med lettere beklædning og hvor bygningen ikke har et opvarmningsbehov, kan en højere operativ temperatur accepteres, svarende til 23-26 °C. Den enkelte person kan naturligvis opnå større grad af tilfredshed ved at tilpasse sin beklædning hensigtsmæssigt.

Sammenligner man ovennævnte krav med de forventede temperaturforhold i stue/alrum, ses at kravet til antal timer over 26 °C netop er overholdt, mens kravet til timer over 27 °C ikke er overholdt. Det er dog antaget at der opholder sig mennesker i stue/alrum i alle de timer hvor overtemperaturerne forekommer, hvilket i praksis ikke er tilfældet. Antages det at ingen opholder sig i rummet fra kl. 9 til kl.16, overskrides temperaturen 26 °C i kun ca. 30 timer, mens 27 °C overskrides i ca. 15 timer i opholdstiden. Med disse forudsætninger er komfortkravene klart overholdt.

På baggrund af analyserne må det konkluderes at huset kan opfylde komfortkravene. Grunden til at det ”går godt”, skyldes primært den relativt lille solenergitransmittans for ruden og det

relativt lille sydvendte vinduesareal. Skulle man i fremtiden ønske at øge vinduesarealet/det transparente areal og/eller bruge ruder der tillader mere solindinfald (en fordel i vinterperioden), bør der anvendes en eller anden form for effektiv solafskærmning.

4 ØKONOMISK VURDERING AF ENERGIBESPARENDE TILTAG

Formålet med dette afsnit er at vurdere økonomien i de anvendte konstruktioner/systemer i huset beskrevet i denne rapport (benævnt lavenergihus i det følgende). Som reference betragtes et tilsvarende traditionelt fuldmuret hus (benævnt referencehus i det følgende) med et isoleringsniveau svarende til krav i det nuværende bygningsreglement. De økonomiske vurderinger er baseret på en opgørelse/beregning af merinvesteringer og forventede energimæssige besparelser.

4.1 Pris- og energimæssig sammenligning

I Tabel 15 er vist en oversigt over forskelle af betydning for de to huses varmetekniske ydeevne.

Tabel 15. Oversigt over varmetekniske forskelle mellem lavenergihuset og et traditionelt muret hus.

Bygningsdel	Lavenergihus	Referencehus (fuldmuret)
Ydervægge	400 mm mineraluld	125 mm mineraluld
Terrændæk	400 mm EPS	225 mm EPS
Tag/loft	450 mm mineraluld	250 mm mineraluld
Vinduesfals	Kombineret krydsfiner- og gipslysninger med kuldebroafbrydelse	Ommuring med en hel sten (230 mm) - 10 mm kuldebroafbrydelse
Fundamentssokkel	Højisoleret fundamentssystem	To skifter massive letklinkerblokke
Vinduer/døre	Alu-beklædte trævinduer/-døre $U = 1.49 \text{ W/m}^2\text{K}$	Som i lavenergihus
Varmesystem	Afstandsprofil i aluminium Gulvvarme	Som i lavenergihus
Ventilation	Mekanisk ventilation med varmegenvinding (90 %) Luftmængde: 60 l/s	Naturlig ventilation Luftmængde: 60 l/s

Der er foretaget en beregning af rumopvarmningsbehovet for referencehuset. De mest betydende kuldebroer er ligesom for lavenergihuset medtaget i beregningerne, og samme forudsætninger vedr. orientering, internt varmetilskud, infiltration, udluftning mm. er anvendt. Det indvendige areal er fastholdt, hvilket betyder at bruttoarealet er reduceret fra 145 til 137 m².

Af hensyn til at kunne foretage en fair sammenligning af de to huse, er der regnet med det samme luftskifte for referencehuset som for lavenergihuset, svarende til et samlet luftskifte på 0,85 h⁻¹.

Referencehuset opfylder den nugældende energiramme, under forudsætning af et luftskifte på 0,5 h⁻¹ (bygningsreglementets krav ved naturlig ventilation). Opvarmningsbehovet ved dette luftskifte er ca. 10500 kWh, og da den nuværende energiramme er 280 MJ/m² = 10656 kWh, opfylder referencehuset altså energirammen.

Tabel 16. Resultater vedrørende simulering af opvarmningsbehov.

Varmebalance (bidrag i kWh pr. år)		Lavenergihus	Referencehus
Q Opv	Energiforbrug til rumopvarmning	3747	13490
Q Inf	Nettobidrag ved infiltration	-867	-7256
Q Udl	Varmetab ved udluftning (>24 °C)	-150	-3
Q Sol	Energi tilført ved solindfald	1779	1817
Q Intern	Varme tilført fra personer & udstyr	4037	3825
Q Transm	Transmissionstab via klimaskærmen	-7905*	-11873*
Q Mix	Ventilationstab til naborum	27	0
Q Vent	Ventilationstab via ventilationsanlæg	-669	0
I alt		0	0

* Heraf vinduer: -3701

Det ses af Tabel 16 at opvarmningsbehovet for det aktuelle lavenergihus er væsentligt reduceret ift. referencehuset. En stor del af besparelsen skyldes varmegenvindingen i ventilationsanlægget, som dog forbruger en del el til lufttransport. Målinger af elforbruget (omtalt i afsnit 3.3.3) viser at dette udgør ca. 120 W ved en volumenstrøm på 60 l/s, svarende til ca. 1050 kWh årligt ved konstant drift hele året.

Det har naturligvis krævet en merinvestering at opnå besparelserne. Firmaet der har opført huset, har lavet et overslag over denne merudgift – der henvises til bilag 12. Herefter kan de samlede energibesparelser og merinvesteringer bestemmes (se Tabel 17 og Tabel 18).

Tabel 17. Overordnede energimæssige konsekvenser – lavenergihus vs. referencehus.

	Energibesparelse [KWh/år]
Tiltag vedrørende klimaskærmen	4219
Mekanisk ventilation med VGV	5524
El-forbrug i ventilationsanlæg	-1050
Alle tiltag	9743

Drift af et ventilationsanlæg kræver vedligeholdelse. I den forbindelse er der primært tale om udskiftning af filtre. Firmaet der har leveret anlægget oplyser at filtrene skal skiftes én gang årligt og at ét standard filter (type EU6) koster 125 kr. inkl. moms. Derudover regnes der ikke med udgifter til vedligeholdelse eller service. Anlægget indeholder to filtre, og den årlige vedligeholdelsesudgift bliver derfor 250 kr.

Ved sammenligning af naturlig ventilation og mekanisk ventilation skal der foretages fradrag for vægventiler og aftrækskanaler, der er nødvendige for at den naturlige ventilation kan etableres. Et stort typehusfirma oplyser at der omtrentlig kan regnes med en udgift til vægventiler på 1000 kr. og 4000 kr. til aftrækskanaler (inkl. arbejdsløn, men ekskl. moms).

Tabel 18. Samlede merinvesteringer og levetider – lavenergihus vs. referencehus.

	Merinvestering [Tusinde kr.]	Levetid [år]
Tiltag vedr. klimaskærm	38,8	100
Ventilationsanlæg ekskl. kanaler mm.	14,0	20
Kanaler mm.	18,0	100
Fradrag for vægventiler	-1,0	20
Fradrag for aftrækskanaler	-4,0	100
I alt ekskl. moms	65,8	
I alt inkl. moms	82,3	

4.2 Vurderingsmetode

I beregningerne er anvendt simpel tilbagebetalingstid og nuværdi som økonomisk målestok/kriterium. Den simple tilbagebetalingstid er defineret som den samlede investering divideret med den årlige besparelse. Ved investering i energitiltag i bygninger kan det normalt antages, at de årlige besparelser er konstante over bygningsdelens levetid eller ind til større genopretning er påkrævet. Nuværdien (også kaldet Net Present Value) måler den totale værdiforøgelse, som ”projektet” genererer udover den opnåede (valgte) forrentning. Inflationseffekten er medtaget gennem valg af realrente og en konsekvent anvendelse af dagspriser.

Nuværdien over en vis periode afhænger af bygningsdelens levetid og realrenten. Ved bestemmelse af nuværdien opgøres alle omkostninger og besparelser til periodens start med den reelle kalkulationsrente (realrente efter skat). Realrenten kan tilnærmet beregnes som:

$$r_r = r_n \cdot (1 - s) - i_e$$

hvor

r_n	Er den nominelle rente i pct./år
i_e	Er energiprisens stigningstakst i pct./år
s	Er beskatningen af renter som decimalbrøk

Realrenten har siden 1990 ligget konstant på mellem 2 og 3 pct./år og derfor vil det være rimeligt at regne med en realrente på 2,5 pct./år. Renteniveau, inflation og energiprisens stigningstakst er normalt sammenkoblede økonomiske størrelser, således at de stiger og falder i samme takt. Den normale sammenkobling kan selvfølgelig blive forrykket, hvis der i bygningsdelens levetid sker væsentlig ændring af afgifts- eller beskatningsforhold, f.eks. på energi.

For anlæg – som bygninger – med levetid over 20 år kan regnes med lineær afskrivning og indregning af restværdi (scrapværdi). For en bygningsdel med en levetid på f.eks. 100 år er det ensbetydende med at 30 % af investeringen regnes afskrevet over en 30 årig periode, og at restværdien er 70 % af investeringen opgjort i nutidigt prisniveau.

4.3 Beregningsforudsætninger

Priser er generelt angivet i år 2002 niveau. Energipriser er inkl. moms og afgifter.

Opvarmning af de danske boliger foregår primært med fjernvarme eller varme fra olie- og naturgasfyr. I fremtiden må det forventes at olie erstattes af mere miljøvenlige brændsler (såsom naturgas). Priser på naturgas er baseret på typiske priser indhentet i september 2002. Individuelle naturgaskedler er typisk kondenserende med en årsnyttevirkning på ca. 100 % i forhold til den nedre brændværdi på 39,6 MJ/m³. Prisen på fjernvarme er baseret på oplysninger fra Danske Fjernvarmeværkers Forening og gældende september 2002. Prisen er et landsgennemsnit vægtet i forhold til de enkelte fjernvarmeværkers salg af varme og er naturligvis ekskl. faste afgifter (som udgør ca. 25 %). Der er altså tale om den gennemsnitlige marginalpris. Denne pris ligger på ca. 0,50 kr./kWh. For det konkrete hus i denne rapport, beliggende i Lemvig, er marginalprisen 0,50 kr./kWh.

Elprisen er baseret på normaltariffer, hvor elprisen er uafhængig af leveringstidspunktet. Elprisen kan dog variere hen over året. Dette skyldes for det første, at andelen af miljøvenlig el/PP (prioriteret produktion) varierer måned for måned. For det andet skyldes det, at prisen på el, der bliver indkøbt på markedsvilkår, afhænger af prisudviklingen på el-børsen. Der anvendes en skønnet gennemsnitlig elpris (ekskl. abonnement) baseret på markedspris og afgifter i september 2002 samt med hensyntagen til den varierende andel af miljøvenlig el.

I Tabel 19 er vist en oversigt over energipriser for boliger.

Tabel 19. Energipriser for boliger afhængig af opvarmningsform.

Opvarmningsform	Energipris [kr./kWh]
Naturgas	0,55
Fjernvarme	0,50
El	1,50

De totaløkonomiske vurderinger foretages over en 30 årig periode. I den forbindelse er prognoser for energipriser og realrente forbundet med store usikkerheder, blandt andet fordi det tidsmæssige perspektiv er så langt. Mht. energipriser er der en klar tendens til at disse vil stige i de kommende år. Det er valgt at betragte tre scenarier mht. energipriser og realrente (se Tabel 20). Scenarie 1 svarer omtrent til de nuværende økonomiske forhold. Scenarie 2 svarer til dobbelt så høje energipriser, mens scenarie 3 er en variant af scenarie 2, idet realrenten er reduceret fra 2,5 til 0 % p.a. (et større skattefradrag vil kunne realisere en sådan rente).

Tabel 20. De tre økonomiske scenarier der betragtes.

Scenarie	Elpris [kr/kWh]	Varmepri [kr/kWh]	Realrente [% p.a.]	Beregningsperiode [år]
1	1,5	0,5	2,5	30
2	3,0	1,0	2,5	30
3	3,0	1,0	0	30

Levetiden for klimaskærmens sættes til 100 år, hvilket tilnærmelsesvis vil gælde for isoleringen og det bærende element i klimaskærmen. For ventilationsanlæggets vedkommende er antaget en levetid for aggregatet på 20 år, mens kanalsystemet har en væsentligt længere levetid. Kanalsystemet antages at have samme levetid som klimaskærmen.

4.4 Resultater

Der giver kun mening at beregne simpel tilbagebetalingstid for tiltag, hvor de indgående delelementer har samme levetid. Derfor er der kun foretaget en sådan beregning for tiltaget vedrørende forbedret isolering af klimaskærmen. For at fastlægge besparelsen ved dette tiltag, er der foretaget en sammenligning af opvarmningsbehovet for lavenergihuset med naturlig ventilation og referencehuset med naturlig ventilation. Forskellen i opvarmningsbehovet er 4219 kWh/år. Herefter kan tilbagebetalingstiden bestemmes for scenarie 1 (for scenarie 2 og 3 halveres tilbagebetalingstiden):

$$\text{Tilbagebetalingstid i år: } \frac{48500 \text{ kr}}{4219 \text{ kWh} / \text{år} \cdot 0,50 \text{ kr.} / \text{kWh}} = 23$$

I Tabel 21 ses resultater med hensyn til nuværdi-beregninger.

Tabel 21. Totaløkonomisk besparelse over 30 år udtrykt som nuværdi.

Tiltag i lavenergihus	Besparelse over 30 år [tusinde kr.]		
	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3
Forbedret isolering af klimaskærm*	11,8	56,0	111,9
Mekanisk ventilation med VGV	-14,3	10,5	34,1
Alle tiltag i huset	-2,5	66,5	146,0

*Bedre isolering af loft, ydervægge, terrændæk og fundament

Af Tabel 21 fremgår det den forbedrede isolering af klimaskærmen for alle tre scenarier resulterer i en besparelse set over 30 år.

Det fremgår også at den mekaniske ventilation med varmegenvinding giver anledning til en merudgift ved scenarie 1, der svarer til de økonomiske forhold i dag (for scenarie 2 og 3 er der tale om besparelser over de 30 år). Resultatet er ikke overraskende, da drift- og vedligeholdelses-omkostningerne (elforbrug og filtre) er relativt store for det aktuelle anlæg.

Skift af filtre er nødvendigt for at sikre et lavt tryktab/elforbrug, idet filtre bidrager til en stor del af det samlede tryktab. Denne omkostning kan altså ikke reduceres. Tidligere i denne rapport er nævnt at elforbruget kan nedbringes med ca. 50 % ved brug af mere energieffektive komponenter samt ved fokus på en energieffektiv udformning af kanalsystem mm. Der er nedenfor foretaget en beregning af nuværdien i en situation hvor elforbruget er reduceret med 50 % og hvor anlægsinvesteringen er forøget med 4500 kr. inkl. moms (omtrentlig merpris for ventilatorer drevet af DC-motorer med bedre el-virkningsgrad end AC-motorer). Det er altså ikke antaget af den energieffektive udformning af kanalsystem mm. koster ekstra i forhold til normal praksis.

Som det kan ses af Tabel 22 forbedres totaløkonomien væsentligt ved en reduktion af elforbruget med 50 %. Det ses også at der nu stort set er tale om en neutral investering (nuværdi = 0) ved scenarie 1.

Tabel 22. Besparelse over 30 år for mekanisk ventilationsanlæg med et elforbrug som er reduceret fra 120 W til 60 W.

	Besparelse over 30 år [tusinde kr.]		
	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3
Mekanisk ventilation med VGV	-4,0	37,3	74,6

4.5 Sammenfatning og diskussion af resultater

Beregningerne udført i dette afsnit viser at totaløkonomien i det aktuelle lavenergihus svarer til totaløkonomien i et traditionelt fuldmuret hus opført efter energikravene i det nuværende bygningsreglement, hvis der antages økonomiske forhold som i dag (scenarie 1). Eller sagt med andre ord så koster det det samme totaløkonomisk set at opvarme lavenergihuset og det traditionelle hus.

Beregningerne indikerer også at man kan spare mange penge på at spare på energien, hvis energiprisen, som forventet, stiger i fremtiden.

Ud fra beregningerne kan konkluderes at investeringen i et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, hvor elforbruget er reduceret mest muligt, totaløkonomisk set er hensigtsmæssigt. Udover det rent økonomiske er der en række fordele forbundet med at have mekaniske ventilation med varmegenvinding, idet indeklimaet alt andet lige forbedres. Der er mulighed for behovsstyring, luften bliver filtreret og friskluften forvarmet inde den blæses ind i boligen, hvilket betyder at træk ikke vil være et problem med dagens effektive varmevekslere. Desuden vil risikoen for skimmelsvamp være mindsket betydeligt.

Den samlede merudgift for lavenergihuset er opgjort til 82300 kr., hvor referencen er et traditionelt muret hus med naturlig ventilation. For dette beløb har det været muligt at reducere rumopvarmningsbehovet svarende til et niveau på 33 % af den nugældende energiramme. Den samlede byggeudgift er opgjort til ca. 1,3 mio. kr., hvilket betyder at merudgiften svarer til ca. 6 %. Det er således muligt for en forholdsvis lille merudgift at fremtidssikre et hus energimæssigt.

5 KONKLUSION

Denne rapport har beskrevet de konstruktive løsninger i et højisoleret enfamilieshuse med ydervægge bestående af lette ydervægselementer i stålskelet. Herudover er der foretaget detaljerede beregninger af varmetab og simuleringer af opvarmningsbehov. Desuden er der foretaget beregning og vurdering af temperaturforholdene i huset.

5.1 Varmetab og kuldebroer

Huset samlede varmetabskoefficient er 82,3 W/K. Opgjort pr. m² opvarmet etageareal fås 0,57 W/m²K (denne koefficient er relevant ved sammenligning med andre huse).

Det dimensionerende transmissionstab er på 2549 W, hvoraf de 682 W vedrører de 1- og 2-dimensionale kuldebroeffekter. Kuldebroernes andel udgør derfor 26 %, hvilket er en forholdsvis høj andel, men ikke overraskende da huset har nogle meget velisolerede gulv-, væg- og loftflader (ca. 400 mm isolering) samt lavenergiruder ($U_g = 1,0$).

En af de mest betydende kuldebroer i huset er rudekanten, idet der er anvendt et afstandsprofil i aluminium. Var der i stedet for valgt et ikke-metallisk profil (f.eks. Swisspacer), ville den samlede kuldebroandel kun have udgjort ca. 21 %. Linietabet for rudens afstandsprofil kan for alle typiske ramme-karm konstruktioner reduceres med ca. 50 % ved brug af sådanne såkaldte ”varme kanter” sammenlignet med rudekanter med aluminiumsprofiler.

5.2 Opvarmningsbehov og indeklima

Der er foretaget en simulering af opvarmningsbehovet i programmet BSIM2000. Denne beregning viser at der kan forventes et opvarmningsbehov på ca. 3700 kWh, svarende til 33 % af den nugældende energiramme. Der er altså tale om et meget lille opvarmningsbehov, som naturligvis vil være meget afhængigt af brugsmønstret, varmetilskud og solindfald.

Det forholdsvis lille opvarmningsbehov er opnået via ca. 400 mm isolering af klimaskærmen, brug af nogle af de bedste to-lags energiruder på markedet ($U_g = 1,0$, $g = 0,52$) og mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding (90 %).

Beregningerne viser at det samlede transmissionstab udgør 7905 kWh i fyringssæsonen. Heraf udgør transmissionstabet via vinduer og døre 3701 kWh, hvilket svarer til en andel på 47 %. Dette er en relativ stor andel i betragtning af at arealet af vinduer og døre kun er 26 m² svarende til 18 % af det opvarmede etageareal.

Der er også foretaget simuleringer af indetemperatur-forholdene. I den forbindelse skal bemærkes at huset ikke har udhæng af betydning, og der er ikke regnet med nogen form for solafskærmning. Simuleringerne viser overordnet at der ikke er problemer med at opfylde kravene vedrørende den operative temperatur specificeret i DS 474 (termisk indeklima). Grunden til at ”det går godt” skyldes i høj grad det relativt lille vindues- og dørareal (især mod syd), hvoraf det transparente areal kun udgør 60 %.

Der er udsendt et oplæg til nye energibestemmelser i Bygningsreglement 2005. Kort fortalt drejer dette sig om at kravene ændres fra bygningsdeles varmetabskoefficient til bygningsens samlede bruttoenergiforbrug, dvs. der bliver fokus på energieffektive bygningsudformninger og installationer samt udnyttelse af solenergi. Bruttoenergirammen skal beregnes som energibehovet til opvarmning, ventilation og køling.

Der er i rapporten foretaget en sådan beregning med baggrund i den metode og de forudsætninger der er angivet i oplægget. Der er beregnet et samlet bruttoenergiforbrug på 10178 kWh, og da energirammen er 270 MJ pr. m² = 10875 kWh, er energirammen altså overholdt. Huset opfylder altså også skitserne til fremtidens krav, der er lagt op til skal gælde fra 2005.

5.3 Økonomi

Der er foretaget en økonomisk sammenligning af det aktuelle lavenergihus og et typisk fuldmuret hus med naturlig ventilation. Generelt viser beregningerne at totaløkonomien set over 30 år er omtrent den samme for de to huse, hvis de økonomiske forhold er som i dag. Udvikler disse sig i retning af højere energipriser, hvilket kan forventes, vil lavenergihuset hurtigt være mere rentabelt end det typiske muret hus.

Der er god økonomi i de isoleringsmæssige tiltag, idet der er beregnet en tilbagebetalingstid på 23 år. Økonomien i det mekaniske ventilationsanlæg er ikke god på grund af primært et stort elforbrug. Beregningerne viser at det vil kunne betale sig at nedsætte dette ved brug af mere energieffektive ventilatorer og en hensigtsmæssig udformning af kanalsystem mm. Det skal bemærkes, at der er en række fordele forbundet med mekanisk ventilation med varmegenvinding sammenlignet med naturlig ventilation, og som er svære at kapitalisere, herunder mulighed for behovsstyring, forvarmet friskluft, filtrering af luften og mindsket risiko for skimmelsvamp.

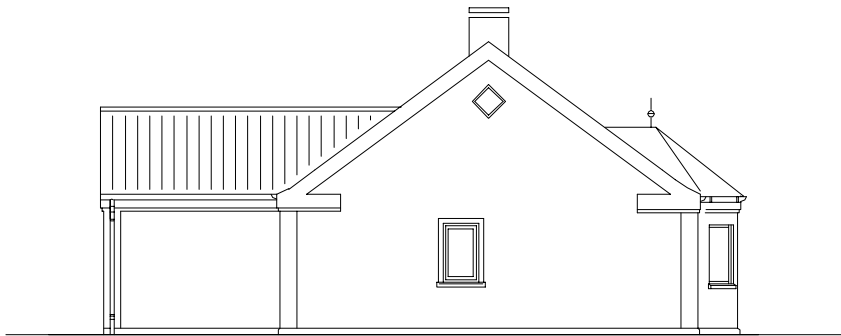
Merudgiften for lavenergihuset ift. det typiske hus er opgjort til 82.300 kr., hvilket skal ses i forhold til en samlet byggeudgift på 1,3 mio. kr. Merudgiften svarer altså til en forøgelse på kun 6 %.

6 REFERENCER

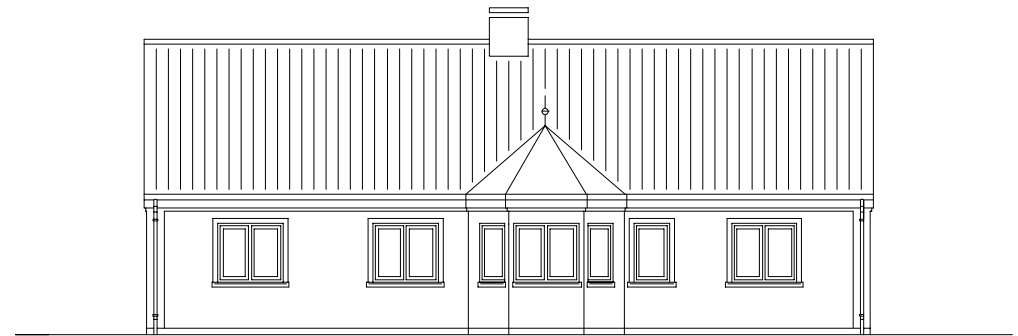
- [1] Bygningsreglement for småhuse inkl. tillæg 1 (BRS 98). Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. København. 1998.
- [2] HEAT2 (version 5.0). PC-program til beregning af 2-dimensionale varmemstrømme (differens-metode). Blomberg, Afdelingen for Bygningsfysik, Universitetet i Lund.
- [3] HEAT3 (version 3.00). PC-program til beregning af 3-dimensionale varmemstrømme (differens-metode). Blomberg, Afdelingen for Bygningsfysik, Universitetet i Lund.
- [4] THERM 2.1a. Finite Element program til beregning af to-dimensionale varmemstrømme. Lawrence Berkeley National Labortory (USA), 2001.
- [5] Dansk Standard DS418: Beregning af bygningers varmetab. 6. udgave. 2002-04-03.
- [6] BSIM2000: Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer (afløseren for Tsb3). Statens Byggeforskningsinstitut, 2002.
- [7] Oplæg til energibestemmelser i Bygningsreglement år 2005 og skitser til bestemmelser i år 2012. Udkast. Søren Aggerholm, By og Byg, August 2001.
- [8] Energi 2000. Handlingsplan for en bæredygtig udvikling. Energiministeriet, april 1990.
- [9] Prøverapport. Prøvning udført ved Wärmetechnisches Labor des RWTÜV i Essen. Udført for firmaet Air-Wex i august 1990.
- [10] Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Vindueskompendium 3: Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Rapport U-003, Version 3. BYG-DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2001
- [11] SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov. Statens Byggeforskningsinstitut, 1995.
- [12] Bygningsreglement for småhuse: By- og Boligministeriet 1998.
- [13] Design Reference Year, DRY – et nyt dansk referenceår. Meddelelse nr. 281. Jerry Møller Jensen & Hans Lund. Laboratoriet for varmeisolering, DTU, oktober 1995.
- [14] Perez, R., Ineichen, P. og Seals, R. (1990) Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance, *Solar Energy*, vol. 44, p. 271-289.
- [15] DS 474 – Norm for specifikation af termisk indeklime. 1. udgave, december 1993.

BILAG: FACADER, SITUATIONSPLAN, GRUNDPLAN, TVÆRSNIT MV.

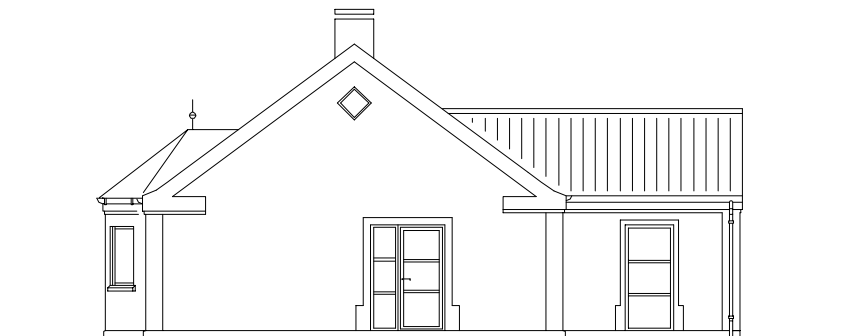
Bilag 1: Facader



GAVL MOD ØST



FACADE MOD NORD

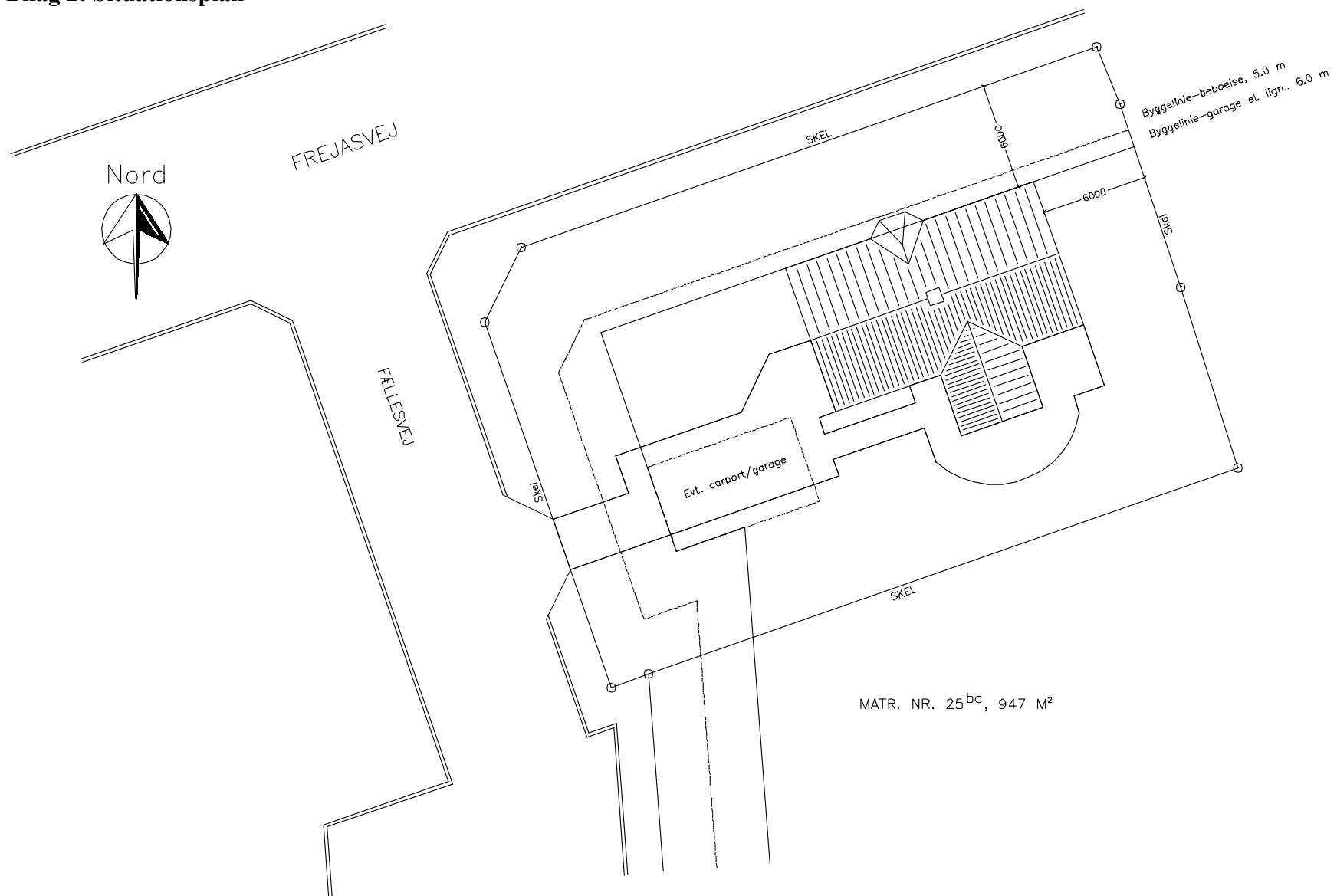


GAVL MOD VEST

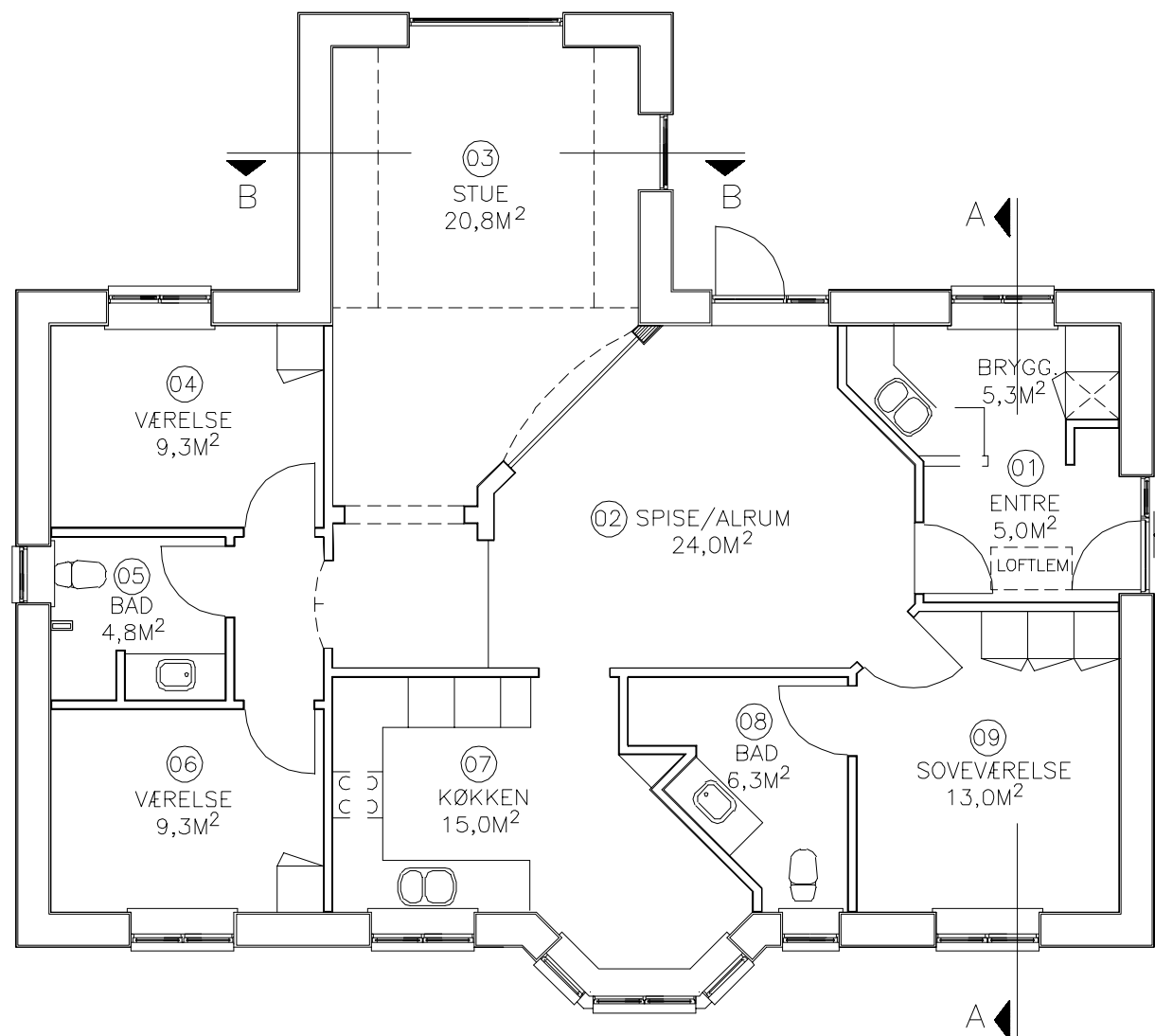


FACADE MOD SYD

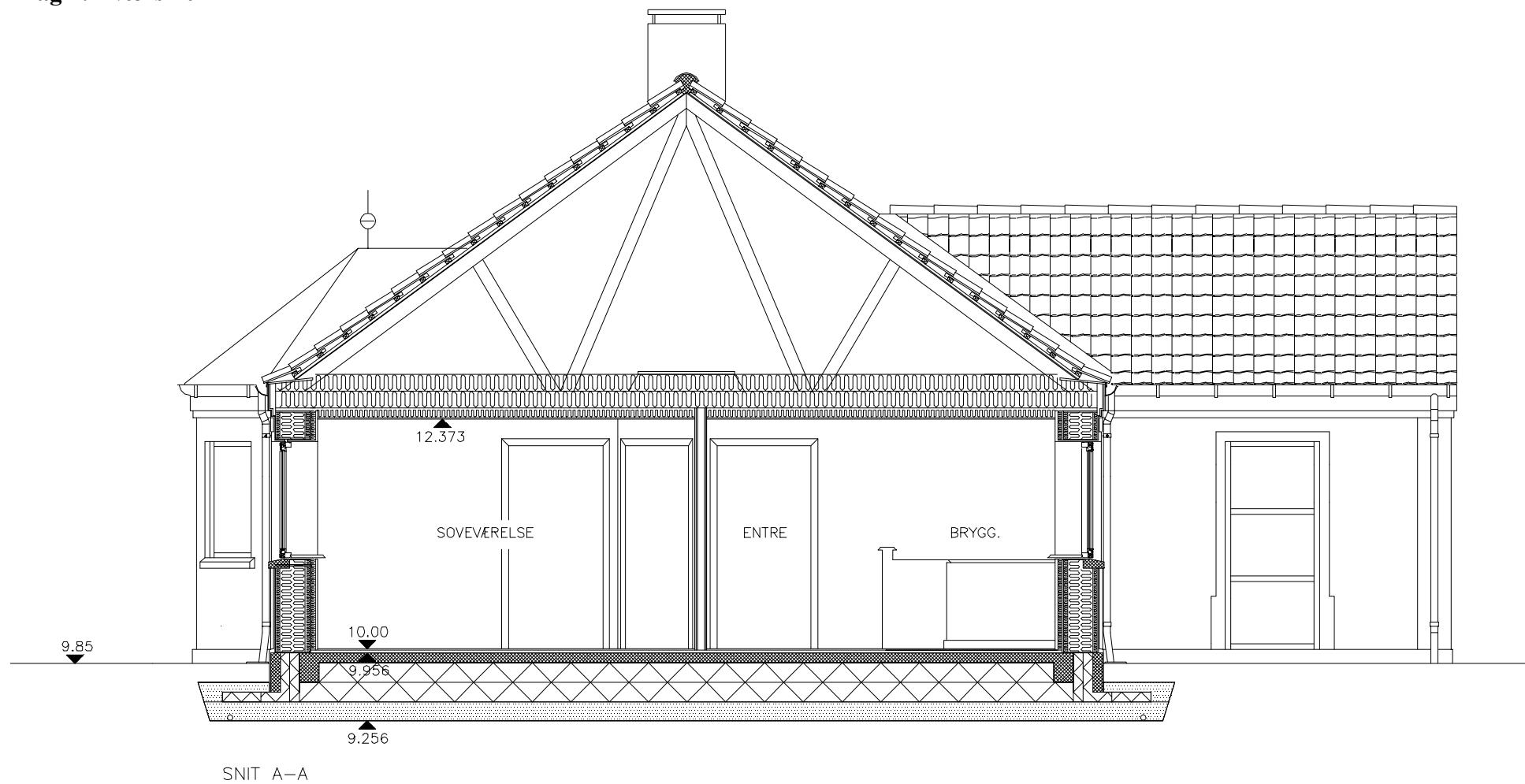
Bilag 2: Situationsplan

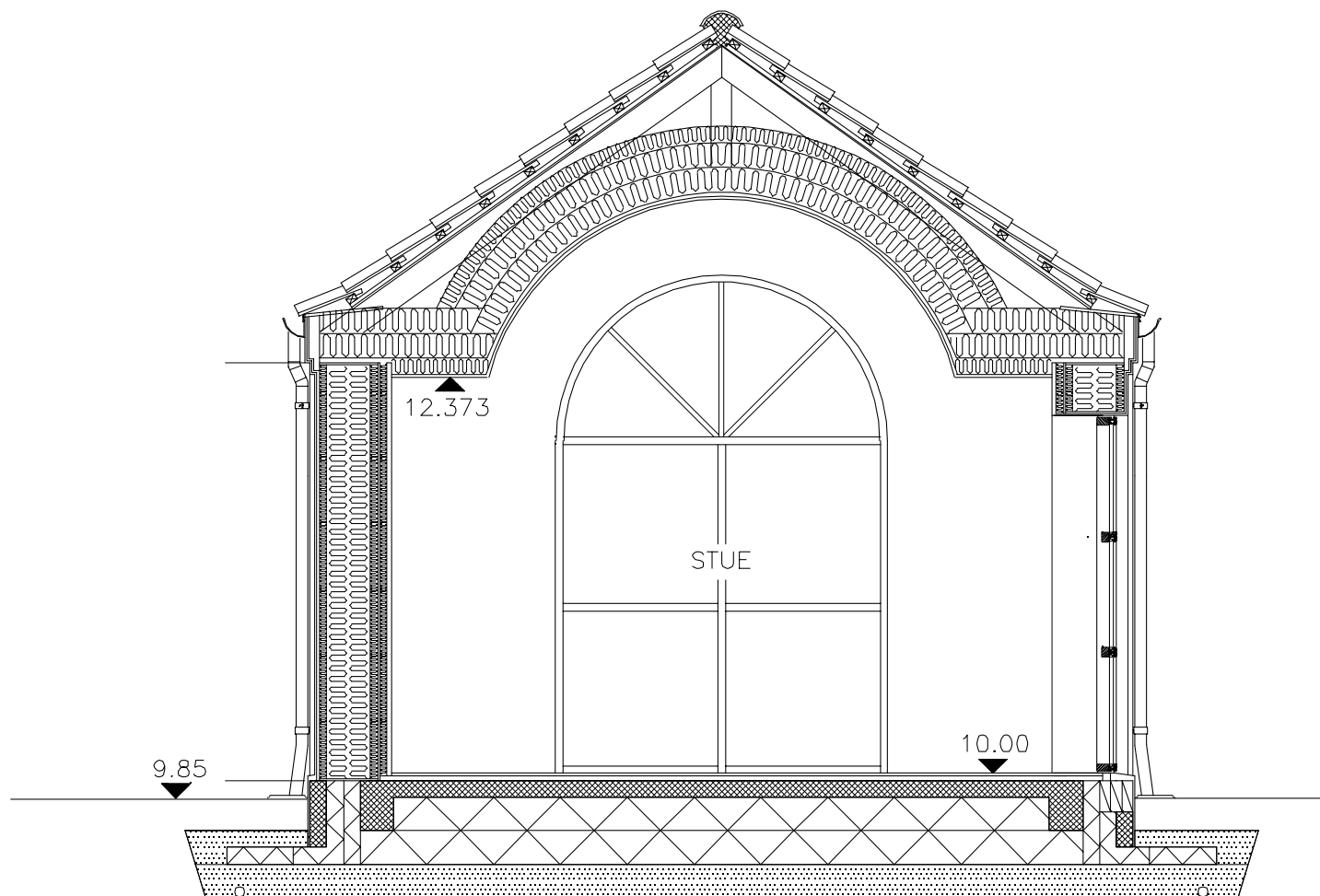


Bilag 3: Grundplan

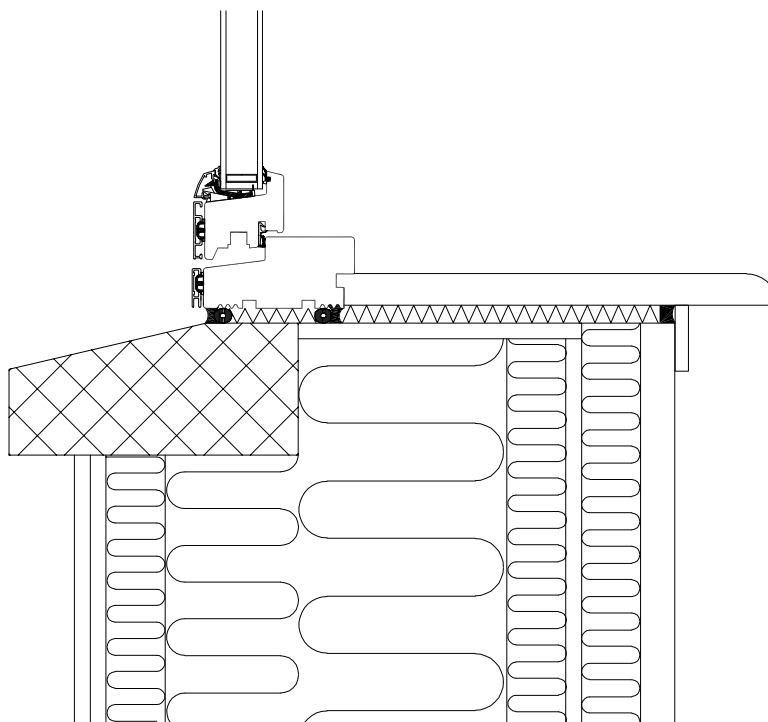
BRUTTOAREAL 145 M²

Bilag 4: Tværsnit

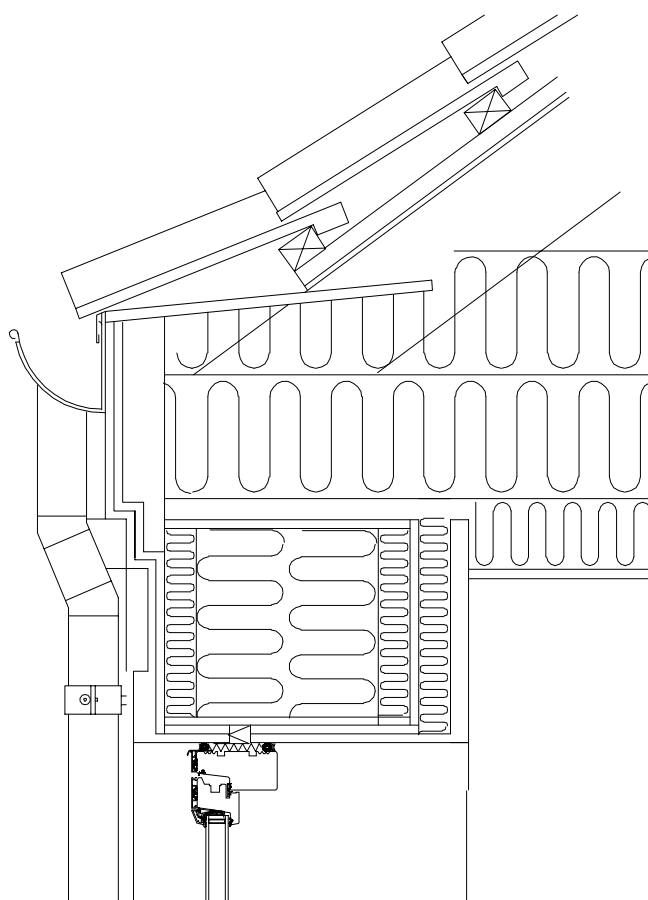




SNIT B-B

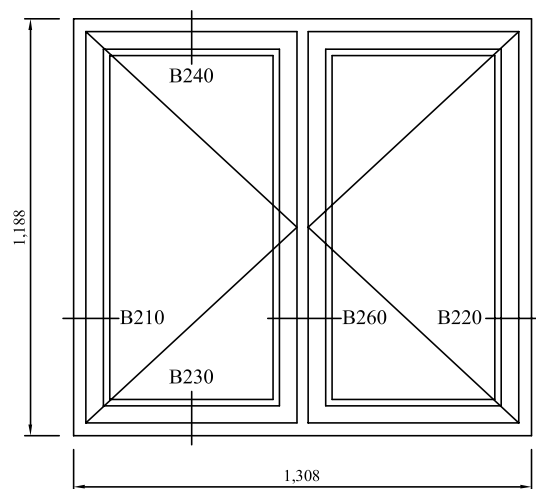


Bilag 5: Snit i underfals

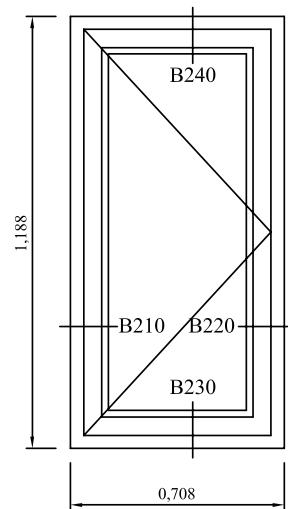


Bilag 6: Tagfodsdetalje

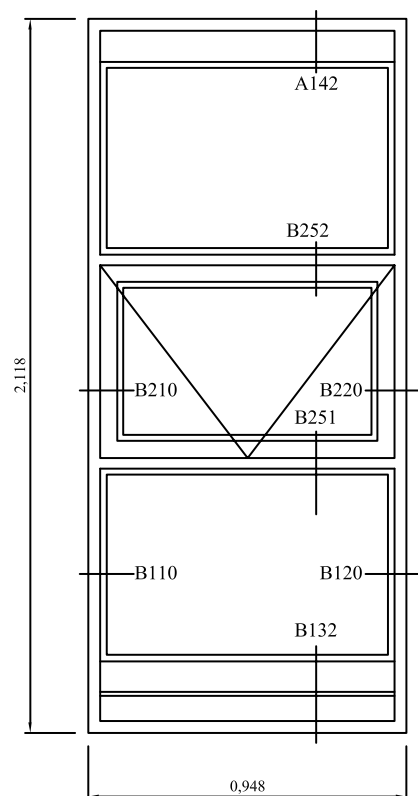
2.FLØJET SIDEHÆNGT VINDUE
TYPE B23.10



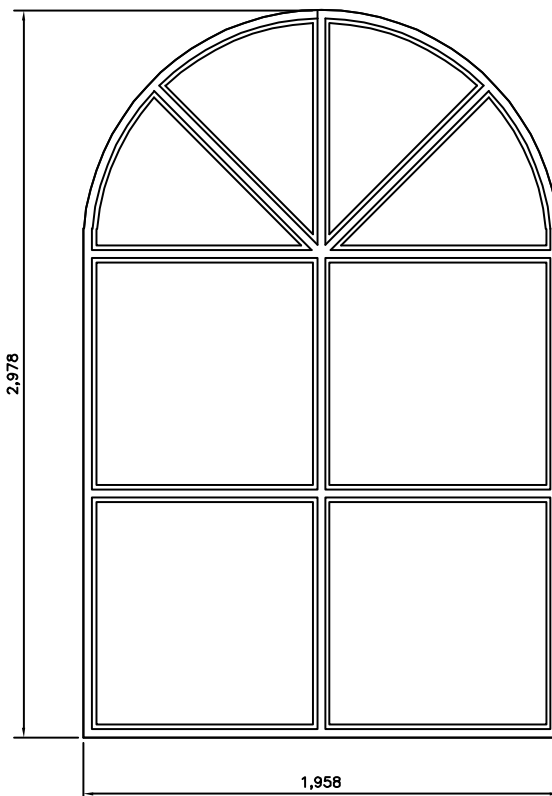
SIDEHÆNGT VINDUE
TYPE B23.00



SIDEPARTI MED TOPSTYRET RAMME
TYPE B13.02

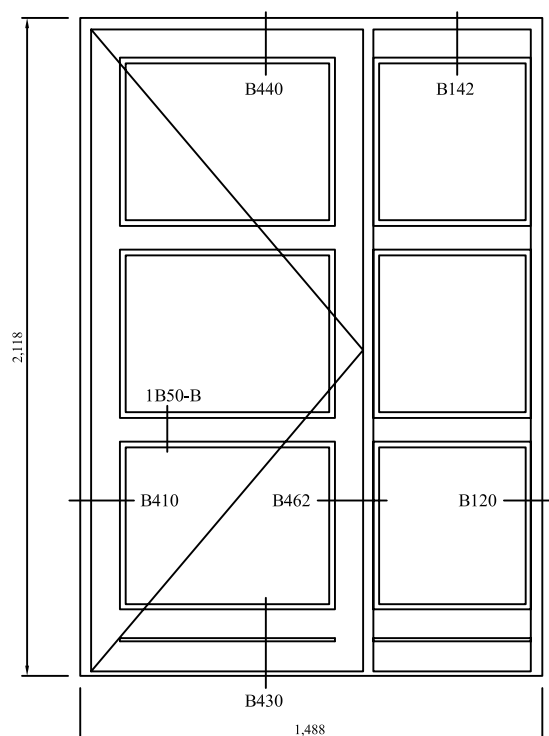


FAST KARM MED BUE OG SKRA SPRS.
TYPE B11.12

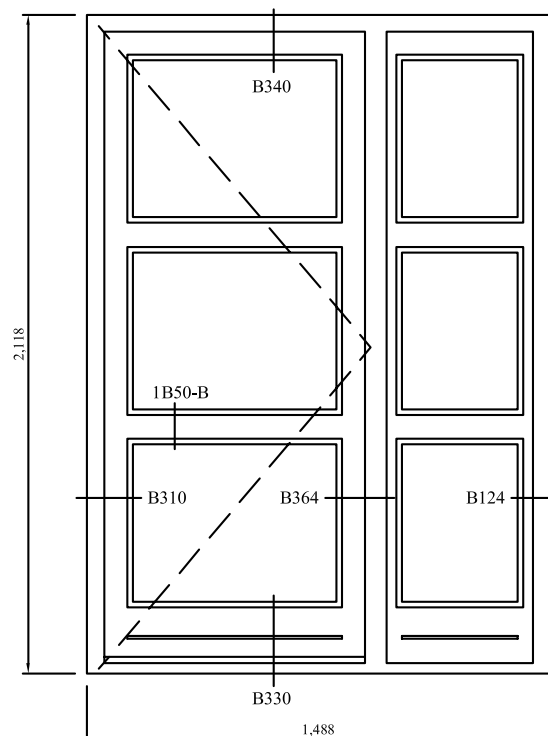


Bilag 7: Vindues- og dørtyper

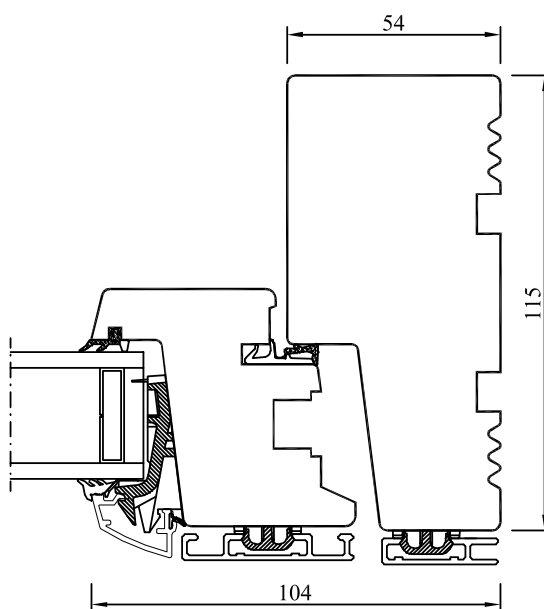
UDADG. TERRASSEDØR MED FAST SIDEPARTI
TYPE B51.00



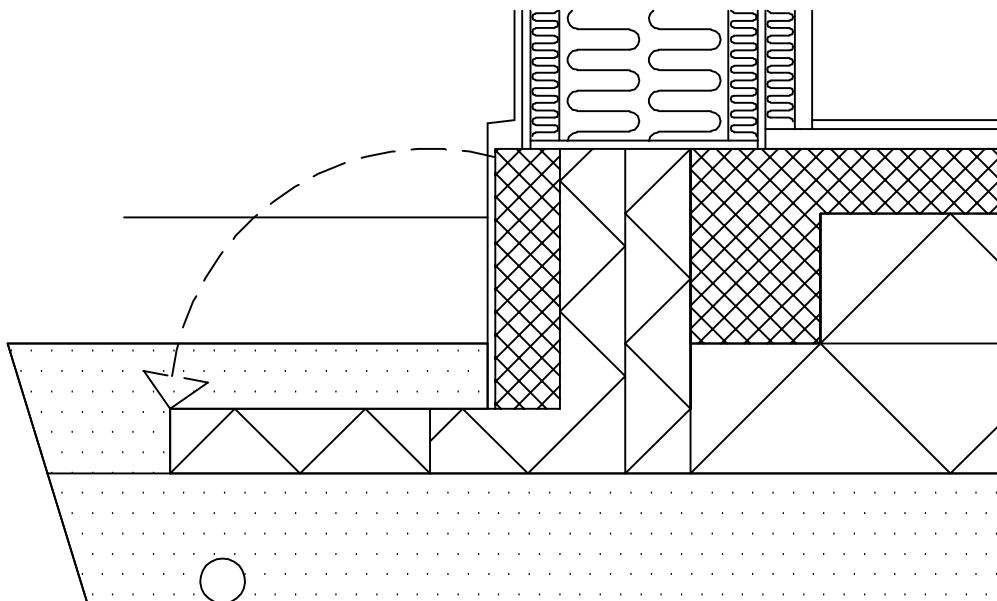
INDADG. FACADEDØR MED FAST SIDEPARTI
TYPE B52.00



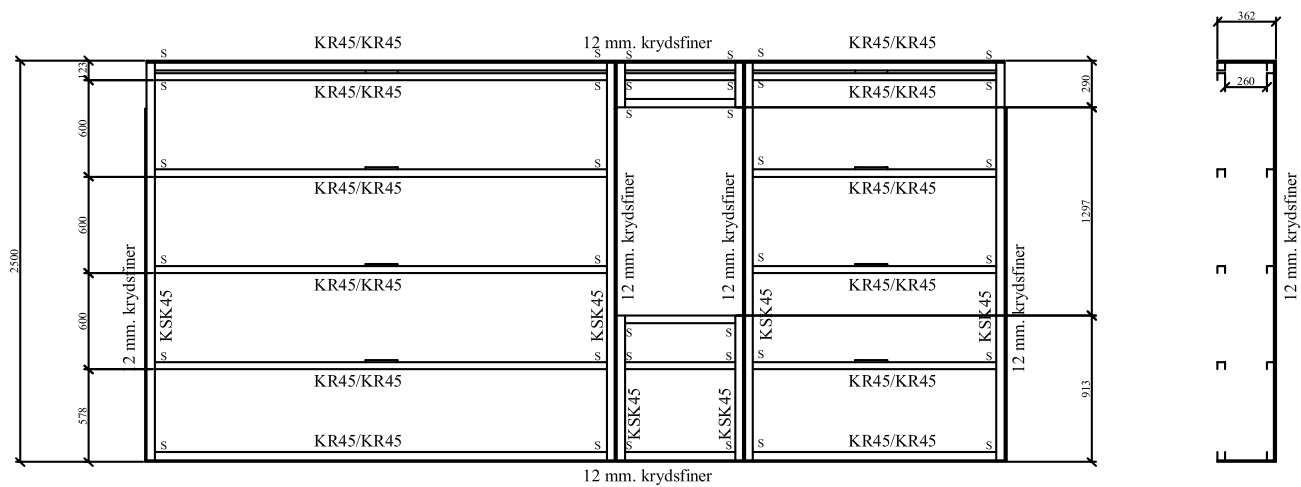
Bilag 7: Vindues- og dørtyper



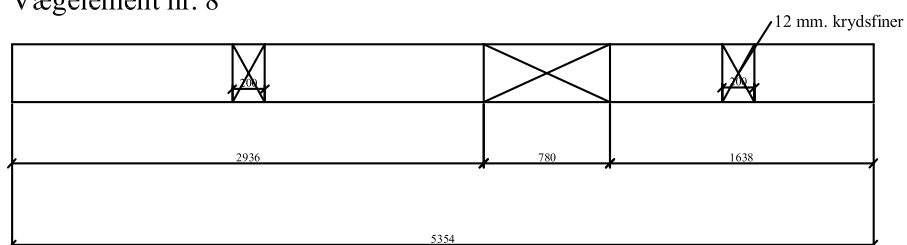
Bilag 8: Typisk snit i ramme-karm: sidekarm i oplukkelige vinduer



Bilag 9: Fundamentsdetalje



Vægelement nr. 8



Bilag 10: Typisk vægelement

Bilag 11: Varmebalance mm. for grundmodellen. Varmebalancebidrag er i kWh.

		Periode og antal dage									
		Fyringssæson	Jan	Febr	Marts	April	Maj	Sept	Okt	Nov	Dec
		232	31	28	31	30	6	14	31	30	31
Q opv	Energiforbrug til rumopvarmning	3747	869	718	533	228	0	7	144	472	777
Q inf	Nettobidrag ved infiltration	-867	-143	-133	-129	-103	-13	-33	-80	-103	-129
Q udl	Varmetab ved udluftning (>24 C)	-150	0	-3	-9	-36	-63	-19	-17	-2	0
Q sol	Energi tilført ved solindfald	1779	129	209	307	396	115	146	239	148	90
Q intern	Varme tilført fra personer&udstyr	4037	539	487	539	522	104	244	539	522	539
Q trans	Transm. tab via klimaskærm*	-7905	-1286	-1180	-1149	-931	-131	-317	-772	-962	-1178
Q mix	Vent. tab til naborum	27	2	5	8	3	-3	-2	7	5	2
Q vent	Vent. tab via ventilationsanlæg	-669	-111	-103	-100	-79	-9	-25	-61	-80	-100
I alt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T ude	Udetemperatur, månedsmiddel	5,1	-0,5	-1	1,7	5,6	13,5	11	9,1	4,8	1,5
T operativ	Indetemperatur, månedsmiddel	20,6	20,0	20,1	20,2	20,6	22,9	21,2	20,4	20,1	20,0
Q veksler	Varme genvundet i vent.anlæg	6038	1006	933	903	707	86	223	552	722	907

*heraf vinduer og døre: 3701 kWh (47 %)

Bilag 12: Merpriser for lavenergihus.

Overslagspriser på lavenergihus og et tilsvarende typisk fuldmuret hus (i tusinde kr.)

	Lavenergihuset	Fuldmuret hus	Afvigelse
Jord, kloak, fundamenter, isolering og gulve	168,0	153,5	14,5
Skalmur eller pudset facade	87,0	87,0	0
Tagsten	45,0	45,0	0
Afretning på gulve, fliser og klinker	58,0	58,0	0
Ydervægge	121,3	107,0	14,3
Spær, udhæng og lægter	90,0	90,0	0
Blikkenslager	20,0	20,0	0
Vinduer og udvendige døre	61,5	61,5	0
Indvendige skillevægge	50,0	60,0	-10
Lofter og isolering	69,0	59,0	10
Gulvbelægninger	25,0	25,0	0
Indvendige døre	22,0	22,0	0
Inventar	67,0	67,0	0
Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding	32,0	0,0	32
VVS arbejdet	54,0	54,0	0
El arbejdet ekskl. hvidevarer	43,0	43,0	0
IHC styring af el	12,0	0,0	12
Centralstøvsuger	9,0	0,0	9
Malerarbejdet	30,0	30,0	0
I alt, ekskl. moms	1063,8	982,0	
25 % moms	266,0	245,5	
I alt (i tusinde kr.)	1329,8	1227,5	102,3

Kilde: Niels Jørgen Holm, firmaet SHS BYG, Lemvig (august 2002)